

Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“
Institut für Verkehrstelematik
Professur für Verkehrsleitsysteme
und -prozessautomatisierung

Deutsches Zentrum für
Luft- und Raumfahrt (DLR)
Institut für Verkehrssystemtechnik
Abteilung Verkehrsmanagement

Studienarbeit

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen

eingereicht von Gaby Schmietendorf
geboren am 07. Juni 1985 in Berlin

Verantwortlicher Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Krimmling

Betreuer: Dipl.-Ing. Matthias Körner (TU-Dresden)
Dipl.-Ing. Carsten Dalaff (DLR)

Abgabedatum: 05.03.2010

.....
Gaby Schmietendorf

Bibliographischer Nachweis

Gaby Schmietendorf:

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen

Technische Universität Dresden, Studienarbeit, 2010 – 222 Seiten

74 Literaturangaben, 40 Abbildungen, 24 Tabellen, 23 Anlagen, 1 CD.

Technische Universität Dresden

Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“

Institut für Verkehrstelematik

Professur für Verkehrsleitsysteme und -prozessautomatisierung

Autorenreferat:

Diese Arbeit betrachtet die vorhandenen Verfahren zur Bewertung der Verkehrsqualität in Bezug auf die im städtischen Verkehr vorkommenden Verkehrsanlagen. Auf der Grundlage der Darstellung gängiger Standardwerke zur qualitativen Beschreibung des Verkehrsablaufs werden die darin enthaltenen Qualitätskriterien herausgefiltert. Die Erläuterung der Komplexität des Verkehrsgeschehens anhand der Vorstellung vorliegender Rahmenbedingungen stellt die Basis für ein Konzept zur statistischen Auswertung der Korrelation zwischen den Einflussgrößen und den der Qualitätsbewertung dienenden Kriterien dar. Dessen Anwendung in einer sich anschließenden prototypischen Implementierung ausgewählter Aspekte rundet die Arbeit ab. Es zeigt sich, dass die dort untersuchten Korrelationen vorerst keine Schlussfolgerungen zu Zusammenhängen zwischen den Qualitätskriterien und den Einflussgrößen zulassen.

Thesen zur Studienarbeit

1. Städtische Netze sind verkehrstechnisch äußerst komplex.
2. Die Bewertung der Verkehrsqualität stellt eine wesentliche Komponente des operativen Verkehrsmanagements dar. Sie bildet die Grundlage für die Auswahl von Steuerungsstrategien zur Beeinflussung des Verkehrsgeschehens.
3. Gängige Verfahren zur Bewertung der Verkehrsqualität beziehen sich auf den planerischen Dimensionierungskontext.
4. Die verschiedenen Bewertungsverfahren überlappen sich in vielen Aspekten.
5. Die vorhandenen Standardwerke zur Qualitätsbewertung sind theoretischer Natur.
6. In der Praxis dienen die Standardwerke der Orientierung; sie werden jedoch nicht in jedem Punkt exakt angewandt. Die Praxis besitzt vielmehr selbstständige Verfahren basierend auf eigenen Erfahrungen.
7. Neben der Verkehrsstärke haben auch zusätzliche externe Einflüsse Auswirkungen auf den Verkehrsablauf.
8. Die Art der Verkehrserfassungseinrichtung beeinflusst die Erkennbarkeit von Auswirkungen der Einflussgrößen des Verkehrsablaufs.
9. Es besteht ein Zusammenhang zwischen den zur Bewertung des Verkehrsablaufs genutzten Qualitätskriterien und den Einflussgrößen. Es sind jedoch nicht alle Qualitätskriterien zur Darstellung dieses Zusammenhangs geeignet.
10. Wichtige Betrachtungsweisen bei der Auswertung von Verkehrsdaten sind der Verlauf über den Tag (Tagesgang), der Verlauf über mehrere Tage des Untersuchungszeitraums und der Verlauf bei Vorliegen externer Einflüsse.
11. Die Beeinflussungen und Empfehlungen durch das operative Verkehrsmanagement müssen besser an die vorliegende Verkehrssituation angepasst werden, um einem Vertrauensverlust von Seiten der Verkehrsteilnehmer in das System des Verkehrsmanagements entgegen zu wirken.
12. Dafür ist eine Optimierung der zu Grunde liegenden Bewertungsmodelle anzustreben. Um dies zu realisieren, muss versucht werden, die Komplexität des Verkehrsablaufs mit all seinen Rahmenbedingungen zu erfassen und in ein solches Modell einzubinden.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis.....	ix
Abkürzungsverzeichnis	xi
1. Einleitung	1
1.1. Motivation.....	1
1.2. Zielstellung.....	1
2. Grundlagen zu Ablauf und Qualität des Verkehrs in städtischen Netzen	3
2.1. Charakteristika städtischer Netze.....	3
2.2. Verkehrsablauf.....	4
2.2.1. Definition des Verkehrsablaufs.....	4
2.2.2. Möglichkeiten zur Beschreibung des Verkehrsablaufs.....	5
2.3. Begriffsbestimmung Qualität.....	9
2.3.1. Allgemeiner Qualitätsbegriff.....	9
2.3.2. Verkehrsqualität	10
3. Analyse der Verfahren zur Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs	15
3.1. Vorgehensweise bei der Analyse	15
3.2. Standardwerke innerhalb Deutschlands.....	17
3.2.1. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS).....	17
3.2.2. Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN)	27
3.2.3. Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA).....	32
3.2.4. Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS)	34
3.2.5. Bewertungsverfahren auf Grundlage des Fundamentaldiagramms	36
3.3. Weitere Standardwerke außerhalb Deutschlands	40
3.3.1. Das amerikanische Highway Capacity Manual (HCM).....	40
3.3.2. Schweizer Normen (SN)	50

3.4.	Analyse aktueller Forschungstendenzen	54
3.4.1.	Knotenpunkte mit LSA	54
3.4.2.	Knotenpunkte ohne LSA	57
3.4.3.	Hauptverkehrsstraßen (Straßenabschnitte)	59
3.4.4.	Hauptverkehrsstraßen (Streckenzüge)	61
3.5.	Verfahren in der Praxis	63
3.6.	Zusammenfassung	65
4.	Rahmenbedingungen bei der Bewertung der Verkehrsqualität	67
4.1.	Einordnung der Rahmenbedingungen in den Kontext der Qualitäts- bewertung	67
4.2.	Einflussfaktoren auf den Verkehrsablauf	68
4.2.1.	Verkehrsnachfrage	68
4.2.2.	Verkehrsteilnehmer	70
4.2.3.	Witterungseinflüsse	72
4.2.4.	Wechselbeziehungen mit anderen Verkehrsteilnehmern	76
4.2.5.	Verkehrssteuerung	78
4.2.6.	Infrastruktur	79
4.2.7.	Verkehrssicherheit	81
4.3.	Sensorik zur Verkehrslageerfassung	84
4.3.1.	Klassifizierung der Sensoren	84
4.3.2.	Verkehrstechnische Anwendung der Sensoren	85
4.3.3.	Einsatz weiterer Sensoren im verkehrstechnischen Umfeld	88
4.3.4.	Zusammenhang zwischen Sensorik und Verkehrsqualität	89
4.4.	Zusammenfassung	91
5.	Konzeptioneller Ansatz zur Identifikation von Qualitätskriterien	93
5.1.	Regelkreis des operativen Verkehrsmanagements	93
5.2.	Herleitung des Untersuchungsgegenstands	94
5.3.	Identifikation geeigneter Kriterien zur komplexen Qualitätsbewertung	96
5.3.1.	Voraussetzung: Messstrecke des DLR	96
5.3.2.	Einschränkungen hinsichtlich des Untersuchungskonzeptes	96

5.3.3.	Relevanzfilter	97
5.4.	Herangehensweise an die prototypische Implementierung	99
5.5.	Zusammenfassung	103
6.	Prototypische Implementierung ausgewählter Aspekte	105
6.1.	Datentechnische Infrastruktur und notwendige Vorbereitungen	105
6.2.	Datenaufnahme	106
6.3.	Datenaufbereitung.....	107
6.4.	Datenauswertung	110
6.4.1.	Voraussetzungen	110
6.4.2.	Verkehrsaufkommen	110
6.4.3.	Tagesganglinien	111
6.4.4.	Einfluss der Helligkeit.....	116
6.4.5.	Einfluss der Regenstärke.....	118
6.4.6.	Weitere Experimente.....	124
6.5.	Erkenntnisse.....	124
6.5.1.	Erkenntnisse hinsichtlich der technischen Handhabung der Daten.....	124
6.5.2.	Inhaltliche Erkenntnisse.....	126
7.	Zusammenfassung	129
	Quellenverzeichnis.....	133

Anlagen

Erklärung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wirkzusammenhang zwischen den Einflussgrößen Fahrer, Fahrzeug und Fahrraum [WERM02]	5
Abbildung 2: Fundamentaldiagramm [FGSV05].....	8
Abbildung 3: Qualitätskreis nach EN 13816 [DSEN02].....	10
Abbildung 4: Informationskreislauf des Verkehrsmanagement	12
Abbildung 5: Verkehrsqualität-Kreislauf nach Boltze [BOLT05]	13
Abbildung 6: Analyse-Schema	15
Abbildung 7: Übersichtsmatrix.....	16
Abbildung 8: Prinzip der Anwendung des Bemessungsverfahrens nach dem 6-stufigen Konzept zur Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs nach HBS [FGSV01]	18
Abbildung 9: Mittlere Kapazität in Abhängigkeit von der Kapazitätsreserve R und der Kapazität C nach HBS [FGSV01]	24
Abbildung 10: Staulänge N_{95} nach HBS [FGSV01]	25
Abbildung 11: Qualitätsstufen für die Luftliniengeschwindigkeiten im Pkw-Verkehr [FGSV08].....	30
Abbildung 12: Qualitätsstufen für die Bewertung des Umwegfaktors [FGSV08]	31
Abbildung 13: Allgemeiner Zusammenhang zwischen Verkehrsqualität, Anlagenausnutzung und Verkehrsquantität nach [SCHN97].....	37
Abbildung 14: Verkehrszustände nach Kerner [KERN00]	38
Abbildung 15: Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte mit den Zustandsformen des Verkehrs nach [SCHN97].....	38
Abbildung 16: Verkehrszustände im Fundamentaldiagramm nach [KIKE01]	39
Abbildung 17: Vergleich der Wartezeitformeln nach HBS und HCM	41
Abbildung 18: Vergleich der Qualitätstufeneinteilung von HBS und HCM nach [STVT03]	42
Abbildung 19: mittlere Wartezeit an Two-Way-Stop-Controlled Intersections nach HCM [HCMA00].....	45

Abbildung 20: Funktionaler Zusammenhang zwischen mittlerer Wartezeit und Auslastungsgrad [KORN05]	52
Abbildung 21: Flussdiagramm zur Bewretung der Wartezeiten von Kfz-Strömen nach dem Hessischen Leitfaden zur Qualitätssicherung an LSA [HESS03]	55
Abbildung 22: Schema der Grenzwerte der Verkehrsstufeneinteilung nach [STVT04]	63
Abbildung 23: Erweitertes Qualitätsmodell nach [SCHM09]	68
Abbildung 24: Verkehrsanteil und Unfallgeschehen im Jahr 2006 im Ortsgebiet [WANN08]	81
Abbildung 25: Verlauf der zulässigen Geschwindigkeiten und der Straßenkategoriegruppen für eine Relation [FRIE05]	83
Abbildung 26: Klassifizierung der Datenerfassung nach [FGSV91]	84
Abbildung 27: Regelkreis des operativen Verkehrsmanagements	93
Abbildung 28: Filterstufenprinzip	97
Abbildung 29: Flussdiagramm der auszuschließenden Einflussfaktoren	101
Abbildung 30: Faktoren der Ausprägung und Wahrnehmung der verschiedenen Witterungseinflüsse	102
Abbildung 31: Durchfahrtsmengen für sämtliche Dienstage des Jahres 2009	110
Abbildung 32: Verlauf der aggregierten Geschwindigkeit über den Minuten des Tages für Dienstag den 17.11.2009	112
Abbildung 33: Verlauf der geglätteten Geschwindigkeit über den Minuten des Tages für Dienstag den 17.11.2009	114
Abbildung 34: Verlauf der aggregierten Nettozeitlücke über den Minuten des Tages für Dienstag den 04.08.2009	115
Abbildung 35: Verlauf der geglätteten Nettozeitlücke über den Minuten des Tages für Dienstag den 04.08.2009	116
Abbildung 36: Gegenüberstellung des Verlaufs der aggregierten Geschwindigkeit und der aggregierten Helligkeit über den Minuten des Tages für Dienstag den 12.05.2009	117
Abbildung 37: Gegenüberstellung des Verlaufs der geglätteten Geschwindigkeit und der aggregierten Helligkeit für Dienstag den 12.05.2009 und 10.11.2009	118

Abbildung 38: Gegenüberstellung aggregierte und geglättete Geschwindigkeit gegenüber Regenstärke für Dienstag den 25.08.2009 und 21.07.2009.....	121
Abbildung 39: Gegenüberstellung aggregierte und geglättete Nettozeitlücke gegenüber Regenstärke für Dienstag den 30.06.2009 und 21.07.2009.....	123
Abbildung 40: geglättete Nettozeitlücke im Vergleich zur Regenstärke bei einsetzendem Regen in der Rush Hour	124

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Qualitätskriterien für die verschiedenen Verkehrsanlagen nach HBS [FGSV01].....	19
Tabelle 2:	Grenzwerte für die Qualitätsstufen an Knotenpunkten mit LSA nach HBS [FGSV01]	23
Tabelle 3:	Grenzwerte für die Qualitätsstufen an Knotenpunkten ohne LSA nach HBS [FGSV01]	25
Tabelle 4:	Qualitätskriterien der RIN nach [FRIE05].....	28
Tabelle 5:	Grenzwerte der mittleren Wartezeit an Knotenpunkten mit LSA nach HCM [HCMA00].....	41
Tabelle 6:	Qualitätsstufeneinteilung für Koordinierungen nach HCM [HCMA00]	43
Tabelle 7:	Grenzwerte der mittleren Wartezeiten an Two-Way-Sto-Controlled Intersections nach HCM [HCMA00]	46
Tabelle 8:	Richtwerte für die Grenzzeitlücke nach HCM [HCMA00]	47
Tabelle 9:	Grenzwerte der mittleren Reisezeit nach HCM [HCMA00]	49
Tabelle 10:	Grenzwerte des Auslastungsgrades [KORN05].....	52
Tabelle 11:	Qualitätsstufen der Koordinierung anhand der durchschnittlichen Verlustzeit [STVT04].....	56
Tabelle 12:	3-Stufen-QSV mit Reisegeschwindigkeit und Reisezeitindex für Verkehrsteilnehmer nach [SPAN07]	62
Tabelle 13:	Definition der Klimaparameter nach Ponzlet [FSST95]	73
Tabelle 14:	Definition der Tageslichtparameter nach Ponzlet [FSST95]	73
Tabelle 15:	Zuordnung der Parameter für Helligkeitsstufen nach [MARZ99].....	73
Tabelle 16:	Zuordnung der Parameter für Sichtweitestufen nach [MARZ99]	74
Tabelle 17:	Zuordnung der Parameter für Niederschlagsstufen nach [MARZ99]	75
Tabelle 18:	Qualitätsstufen für die Bewertung der MIV-Reiseweite auf vergleichsweise sicheren Verkehrswegen [FRIE05].....	83
Tabelle 19:	Detektionsarten unterschieden anhand des Messprinzips nach [FGSV91].....	85
Tabelle 20:	Übersicht über die Detektorarten nach [KOBBO7]	86

Tabelle 21:	Vor- und Nachteile der Detektorarten in Anlehnung an [BOHO06].....	87
Tabelle 22:	Umwelt-Detektorarten [FGSV91]	88
Tabelle 23:	Qualitätsdimensionen zur Bewertung der Datenqualität [FSST04]	89
Tabelle 24:	gefilterte Qualitätskriterien	99

Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
DTV	durchschnittlicher Tagesverkehr
etc.	et cetera
EWS	Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen
ggf.	gegebenenfalls
HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen
HCM	Highway Capacity Manual
IV	Individualverkehr
Kfz	Kraftfahrzeug
Lkw	Lastkraftwagen
LOS	Level-of-Service
LSA	Lichtsignalanlage
MIV	motorisierter Individualverkehr
ÖPNV	öffentlicher Personen-Nahverkehr
ÖV	öffentlicher Verkehr
Pkw	Personenkraftwagen
RiLSA	Richtlinien für Lichtsignalanlagen
RIN	Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung
SAQ	Stufen der Angebotsqualität
SN	Schweizer Norm
sog.	so genannt
u.a.	unter anderem
usw.	und so weiter
vgl.	vergleichend
vorh.	vorhandene
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
zul.	zulässige

1. Einleitung

1.1. *Motivation*

Die zunehmende Verkehrsnachfrage erfordert eine immer stärkere Optimierung des Verkehrsflusses. Insbesondere im Bereich des innerstädtischen Verkehrs stoßen infrastrukturelle Maßnahmen hierbei häufig an ihre Grenzen aufgrund des begrenzten Platzangebotes. Dementsprechend kommt dem Verkehrsmanagement in diesem Zusammenhang eine besondere Bedeutung zu. Ziel des Verkehrsmanagements ist die Koordinierung des Verkehrsflusses. Dies wird über die Beeinflussung der Verkehrsnachfrage mittels Verkehrssteuerungseinrichtungen realisiert. Die Einleitung spezieller Steuerungsmaßnahmen zur Verbesserung des Verkehrsgeschehens erfordert jedoch nicht nur die Kenntnis der vorliegenden Verkehrslage, sondern auch das Wissen über die Qualität des Verkehrsablaufs, anhand dessen wiederum erforderliche Eingriffe erkannt werden können. Die Bewertung der Verkehrsqualität nimmt daher eine entscheidende Rolle bei der Auswahl bestimmter Maßnahmen zur Beeinflussung ein.

Die Bewertung der Verkehrsqualität erscheint zunächst sehr subjektiv geprägt. Jeder Verkehrsteilnehmer empfindet den vorliegenden Verkehrsablauf unterschiedlich, oftmals je nachdem in welcher Verfassung er sich in diesem Moment befindet oder aus welchem Grund er die Fahrt angetreten hat. Eine objektive Bewertung ist jedoch ebenfalls möglich. Über quantifizierbare Größen lassen sich bei Abweichungen von Idealzuständen Aussagen generieren, mit deren Hilfe der Verkehrsfluss bewertet werden kann.

Der sich aus beiden Betrachtungsweisen ergebende Zwiespalt zwischen der Bewertung der Verkehrsqualität einerseits aus Sicht des einzelnen Verkehrsteilnehmers, der sich womöglich mitten im Geschehen befindet, und andererseits aus Sicht der Verkehrsingenieure, die die vorliegende Verkehrssituation von einem äußeren, unbeeinflussten Standpunkt aus betrachten, stellt die besondere Herausforderung bei deren Bewertung dar. Insbesondere die Verknüpfung beider Sichtweisen erscheint für zukünftige Bewertungsmodelle relevant, um nicht nur die Aussagekräftigkeit der Modelle zu erhöhen, sondern auch um den Befindlichkeiten der Fahrer bei der Ausgabe von Verkehrsinformationen stärker entgegen zu kommen.

Aus diesem Grund beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit den generellen Möglichkeiten der Qualitätsbewertung, möchte jedoch auch die Vielschichtigkeit, die die Komplexität der Bewertung des Verkehrsablaufs vor allem im Kontext des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen ausmacht, als Gesamtsystem darstellen.

1.2. *Zielstellung*

Ziel der vorliegenden Arbeit soll es demnach sein, die für die Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an städtischen Verkehrsanlagen vorhandenen Verfahren auf ihre Praxistauglichkeit im Sinne der Verwendung innerhalb des operativen Verkehrsmanagements zu untersuchen. Darüber hinaus sollen auch graduelle Auswirkungen externer Einflussfaktoren aufgezeigt werden, die eine exaktere Formulierung der Modelle zur Bewertung des Verkehrsgeschehens erlauben.

Neben den theoretischen Betrachtungen soll eine praktische Untersuchung einer realen Messstrecke weitere Aufschlüsse geben.

Es ergeben sich somit die folgenden, konkretisierten Einzelzielstellungen:

- Analyse des Standes der Technik zur Qualitätsbewertung im Verkehrsmanagement
- Identifikation potentieller Einflussfaktoren auf den Verkehrsablauf
- Erfassung der Möglichkeiten zur Datenerfassung mit Hilfe aktuell verwendeter Detektoren
- Analyse einer realen Messstreckendatenbank
- Aufzeigen von Forschungsschwerpunkten

Die Bearbeitung der dargelegten Ziele erfolgt in 5 Schritten. Zunächst werden in Kapitel 2 die Grundlagen zum Verkehrsablauf in städtischen Netzen gelegt. Es wird aufgezeigt, welche Verkehrsanlagen für städtische Netze charakteristisch sind. Grundsätzliche Aspekte des Verkehrsablaufs werden dargelegt sowie die Begrifflichkeiten Qualität und Verkehrsqualität definiert.

Einen Schwerpunkt der Arbeit bildet die sich im Kapitel 3 anschließende Analyse vorhandener Bewertungsverfahren. Insbesondere die Verwendung dieser Verfahren im operativen Verkehrsmanagement und die Herausarbeitung der genutzten Qualitätskriterien zur Bewertung des Verkehrsgeschehens stehen hier im Fokus der Betrachtungen. Das Aufzeigen neuer Trends und die Verwendung der vorgestellten Verfahren im Praxisumfeld runden das Kapitel 3 ab.

Neben der Untersuchung der potentiellen Einflussfaktoren auf den Verkehrsablauf werden in Kapitel 4 auch die der Erfassung des Verkehrsgeschehens dienenden Verkehrsdetektoren beleuchtet. Darüber hinaus werden weitere, für den Einsatz im Verkehrsumfeld nutzbare, Sensoren vorgestellt und der Zusammenhang zwischen der Erfassung der Verkehrssituation und deren Bewertung erläutert.

In Kapitel 5 folgt die Darstellung eines konzeptionellen Ansatzes zur Durchführung einer statistischen Auswertung im Hinblick auf die Untersuchung der Korrelation zwischen Qualitätskriterien zur Beschreibung des Verkehrsablaufs und potentiellen Einflussfaktoren, die die Einbindung der aus den vorherigen Kapiteln gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen soll. Im Anschluss daran werden in Kapitel 6 ausgewählte Aspekte der beschriebenen Konzeption in einer prototypischen Implementierung umgesetzt. Diese Umsetzung umfasst die Untersuchung realer Einzelfahrzeugdaten, die statistische Auswertung der Datenquellen und die Identifikation von Auswirkungen externer Einflüsse sowie von Problemen im Umgang mit sehr großen Datenmengen. Schlussfolgerungen für die Verkehrsbewertung schließen diese Analyse ab.

In Kapitel 7 befindet sich schließlich eine Zusammenfassung der Arbeit. Weitere Forschungsschwerpunkte werden aufgezeigt.

2. Grundlagen zu Ablauf und Qualität des Verkehrs in städtischen Netzen

2.1. *Charakteristika städtischer Netze*

„Das Straßenverkehrsnetz besteht grundsätzlich aus den beiden Netzelementen Strecke und Knotenpunkt.“ [FGSV01]

Städtische Netze zeichnen sich darüber hinaus durch die Verknüpfung sowie verschiedene Ausprägungen dieser Netzelemente aus. So können Streckenabschnitte von Haupt- und Nebenverkehrsstraßen unterschieden werden, aber auch Knotenpunkte mit und ohne Lichtsignalanlage. Hinzu kommen Kreisverkehre, Anlagen für den Fahrrad- und Fußgängerverkehr genauso wie Anlagen für den öffentlichen Personennahverkehr oder auch Anlagen zur Abfertigung des ruhenden Verkehrs. [FGSV01]

Von besonderer Bedeutung für die Bewältigung des Verkehrsaufkommens innerhalb städtischer Netze sind jedoch die Hauptverkehrsstraßen und die Knotenpunkte, die das „Grundgerüst für die Verkehrsorganisation in Städten“ bilden [FGSV01]. Daher sollen im Folgenden kurz die wesentlichen Charakteristika dieser Verkehrsanlagen benannt werden:

Charakteristika von Knotenpunkten mit LSA

Lichtsignalanlagen bestimmen laut [FGSV01] „maßgebend die Verkehrsabwicklung im gesamten innerörtlichen Hauptverkehrsstraßennetz“. Sie werden vordergründig an hoch belasteten Knotenpunkten „zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und/oder zur Verbesserung der Qualität des Verkehrsablaufs“ eingesetzt und finden daher vor allem innerhalb bebauter Gebiete Anwendung. Außerhalb bebauter Gebiete erfolgt der Einsatz hingegen nur sehr selten.

Insgesamt wird „durch die Lichtsignalsteuerung [...] gegenüber vorfahrtsregulierten Knotenpunkten [...] eine erhebliche Kapazitätssteigerung erreicht.“ [FGSV01]

Charakteristika von Knotenpunkten ohne LSA

Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlagen werden auch als vorfahrtsregulierte Knotenpunkte bezeichnet. Das HBS unterscheidet hierbei zwei Arten: Kreuzungen und Einmündungen mit Vorfahrtsbeschilderung und Kreisverkehrsplätze mit Vorfahrtsbeschilderung. Knotenpunkte ohne LSA sind generell durch die Bevorzugung einer Verkehrsrichtung aufgrund der straßenverkehrsrechtlich festgelegten Rangfolge und der damit einhergehenden Benachteiligung untergeordneter Verkehrsströme gekennzeichnet. „Für die nicht bevorrechtigten Verkehrsströme bestehen umso weniger Möglichkeiten zum Abbiegen, Kreuzen oder Einbiegen, je größer die Verkehrsstärke der zu beachtende Hauptströme ist“ [FGSV01]. Kreisverkehre werden in diesem Zusammenhang als Folge T-förmiger Einmündungen, die voneinander unabhängig sind (sofern kein Stau im Kreis vorliegt), betrachtet. Der Verkehrsstrom in der Kreisfahrbahn wird als Hauptstrom angesehen.

Charakteristika von Hauptverkehrsstraßen (Streckenabschnitte)

Unter Hauptverkehrsstraßen werden sowohl „anbaufreie Straßen im Vorfeld und innerhalb bebauter Gebiete“ als auch „angebaute Straßen innerhalb bebauter Gebiete“

verstanden. Beiden gemein ist die Tatsache, dass Hauptverkehrsstraßen eine maßgebende Verbindungsfunktion besitzen. [FGSV01]

„Der Verkehrsablauf auf städtischen Hauptverkehrsstraßen [ist] in starkem Maße durch Beeinträchtigungen des Verkehrsflusses [...] durch Fußgänger, Radfahrer, ein- und ausparkende Fahrzeuge u.ä. gekennzeichnet.“ [WERM02]

Charakteristika von Hauptverkehrsstraßen (Streckenzüge)

Streckenzüge bilden die Verknüpfung der bisher genannten charakteristischen Verkehrsanlagen städtischer Netze. Dies bedeutet, dass bei Streckenzügen die einzelnen Verkehrsanlagen nicht mehr als voneinander unabhängig und entsprechend getrennt betrachtet werden, sondern auch die gegenseitige Beeinflussung zu berücksichtigen ist.

2.2. Verkehrsablauf

2.2.1. Definition des Verkehrsablaufs

Der Verkehrsablauf als „Gesamtheit der räumlich-zeitlichen Bewegungsvorgänge von Fahrzeugen im Straßenraum“ impliziert sowohl das „Fahren in einer Richtung [...] mit konstanter Geschwindigkeit, Beschleunigung, Bremsen und Anhalten“ sowie auch „Fahrvorgänge wie Kreuzen, Aus- und Einfädeln, Überholen, Ein- und Ausbiegen und Verflechten.“ Des Weiteren sind nicht nur Fahr- und Bewegungsvorgänge des individuellen Pkw-Verkehrs, sondern auch von Lkw, Motorrädern, Fußgängern, Fahrradfahrern sowie des öffentlichen Personennahverkehrs wie Busse oder schienengebundener Verkehr in die Betrachtungen einzubeziehen [WERM02]. Sie alle werden zusammengefasst in der Gruppe der Verkehrsteilnehmer.

Die einzelnen Verkehrsteilnehmer bestimmen ihren Verkehrsablauf teilweise selbst - zu einem gewissen Grad müssen sie aber auf die anderen Verkehrsteilnehmer und Umfeldbedingungen Rücksicht nehmen: „Je mehr Fahrzeuge pro Zeiteinheit die Straße befahren, desto eher werden sie sich gegenseitig behindern.“ [FSST94]

Zusätzlich zur Interaktion zwischen den verschiedenen Verkehrsteilnehmern können weitere Einflussgrößen auf den Verkehrsablauf identifiziert werden. Das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen [FGSV01] fasst diese Größen unter dem Oberbegriff äußerer Randbedingungen zusammen und schlüsselt den Bereich in vier Arten von Einflussgrößen auf:

- Wegbedingungen
= geometrische Eigenschaften und bauliche Ausprägungen einer Verkehrsanlage, wie z.B. Art der Anlage, Anzahl der Fahrstreifen, Längsneigung, Kurvigkeit
- Verkehrsbedingungen
= Zusammensetzung des Verkehrsstroms und die Aufteilung des Verkehrs auf ggf. vorhandene Verschiedene Fahrstreifen
- Steuerungsbedingungen
= von außen bewusst vorgegebene Randbedingungen zur Beeinflussung des Verkehrsablaufs, wie z.B. Verkehrsrechtliche Regelungen (Vorfahrtsregelung, Geschwindigkeitsbeschränkungen, Überhol-, Abbiege- oder Halteverbote)

- Allgemeine äußere Bedingungen
= Wetter- und Straßenverhältnisse

Der Zusammenhang zwischen den genannten Einzelgrößen, die auf den Verkehrsablauf wirken, kann entsprechend Abbildung 1 grafisch erfolgen. Für die komplexe Darstellung des Verkehrsablaufs können demnach „Wirkzusammenhänge zwischen den die Bewegung charakterisierenden Merkmalen von Fahrer und Fahrzeug einerseits und den baulichen und verkehrlichen Gegebenheiten des Fahrraums andererseits“ identifiziert werden. [WERM02]

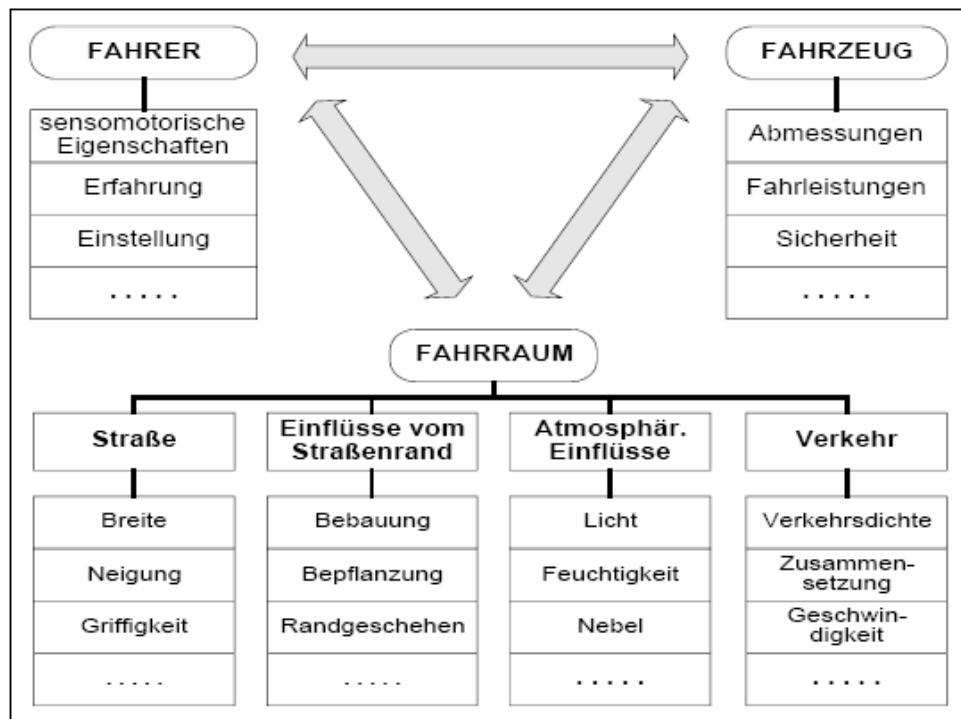


Abbildung 1: Wirkzusammenhang zwischen den Einflussgrößen Fahrer, Fahrzeug und Fahrraum [WERM02]

2.2.2. Möglichkeiten zur Beschreibung des Verkehrsablaufs

Die Beschreibung des Verkehrsablaufs kann entweder auf Basis mikroskopischer Betrachtungen (Betrachtung des Fahrverhaltens einzelner Fahrzeuge in einer Kolonne anhand von Kenngrößen für die einzelnen Fahrzeuge) oder makroskopischer Betrachtungen (Betrachtung des Verkehrsstroms in seiner Gesamtheit anhand von über einen Zeitraum oder Streckenabschnitt aggregierten Größen) erfolgen. [SCHN97]

Mikroskopische Verkehrsflussmodelle

Mit den mikroskopischen Modellen kann z.B. im Rahmen von Sicherheitsanalysen, das Geschwindigkeits-Abstands-Verhalten von Fahrzeugen untereinander beschrieben werden. Folgende Modelle stehen hierfür zur Verfügung [SCHN97]:

- Dynamische Modelle
- Fahrzeugfolgemodelle
- Psycho-physische Abstandsmodelle.

Der Fokus soll in dieser Arbeit jedoch nicht auf der Beschreibung des Verkehrsablaufs einzelner Fahrzeuge, sondern auf einer ganzheitlichen Betrachtung des Verkehrsablaufs auf einem Streckenabschnitt liegen. Daher soll an dieser Stelle auf eine genauere Erläuterung der mikroskopischen Modelle verzichtet werden – zur Vertiefung kann hierfür [SCHN97] empfohlen werden.

Makroskopische Verkehrsflussmodelle

Mit den makroskopischen Modellen sollen Erscheinungen im Verkehrsablauf komplex interpretiert werden. Die wichtigsten Kenngrößen zur makroskopischen Beschreibung der freien Strecke sind [FGSV05]:

- Verkehrsstärke (Fahrzeuge / Zeit),
- Verkehrsdichte (Fahrzeuge / Weg),
- Geschwindigkeit gemittelt über mehrere Fahrzeuge (Weg / Zeit).

Daneben existieren speziell zur makroskopischen Beschreibung des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten zusätzliche Kenngrößen [SCHN97]:

- Wartezeiten,
- Rückstau,
- Umlaufzeit (Knotenpunkte mit LSA),
- Überlastungswahrscheinlichkeit,
- Auslastungsgrad.

Folgende Modelle können beispielsweise zur makroskopischen Beschreibung des Verkehrsflusses herangezogen werden:

1. Kontinuumstheorie nach Lighthill und Whitham (1955)

In Anlehnung an die in der Physik beobachtete Kinematik der Flüssigkeiten kann der Verkehrsfluss auf der freien Strecke mit der Bewegung von eindimensionalen, kompressiblen Flüssigkeiten verglichen werden. Über die Differentialgleichung (sog. Kontinuitätsgleichung) lässt sich der Strömungszustand an jedem beliebigen Ort beschreiben. Dafür werden kleine Ausschnitte der Weg-Zeit-Ebene unter der Annahme, dass innerhalb des Abschnittes keine Fahrzeuge verloren gehen können (Fahrzeuge beginnen, enden und wenden nicht auf diesen Abschnitten), betrachtet [FSST08]:

$$\frac{\partial q(s,t)}{\partial s} + \frac{\partial k(s,t)}{\partial t} = 0$$

mit

$q(s,t)$ = Verkehrsstärke eines Verkehrsstroms in Abhängigkeit von Weg und Zeit

$k(s,t)$ = Verkehrsdichte des Verkehrsstroms in Abhängigkeit von Weg und Zeit

s = Weg-Parameter

t = Zeit-Parameter

Für einen stationären Verkehrsstrom kann vereinfacht die Zustandsgleichung zur Beschreibung des Verkehrsflusses genutzt werden:

$$q = k \cdot \overline{v_m}$$

mit

q = Verkehrsstärke eines Verkehrsstroms [Kfz/h]

k = Verkehrsdichte des Verkehrsstroms [Kfz/km]

$\overline{v_m}$ = mittlere momentane Geschwindigkeit des Stroms [km/h]

In Analogie zu den Wellenbewegungen auf einem Fluss können auch beim Verkehrsfluss Bewegungen von Dichtewellen beobachtet werden. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c der Dichtewellen, die stets kleiner als die mittlere Streckengeschwindigkeit des Verkehrsstroms ist, ist durch den Differentialquotienten der Kontinuitätsgleichung gegeben. Für einen bestimmten Dichtezustand auf einem Streckenabschnitt können damit folgende Zustände abgeleitet werden [SCHN97]:

- $c > 0$:
stabiler Bereich, d.h. der Verkehr fließt (Dichtewellen bewegen sich mit dem Verkehrsstrom)
- $c < 0$:
instabiler Bereich, d.h. Staugefahr bis zum Verkehrszusammenbruch (Dichtewellen bewegen sich entgegen des Verkehrsstroms)
- $c = 0$:
Bereich maximaler Verkehrsstärke, d.h. Durchlassfähigkeit (Dichtewelle steht).

2. Fundamentaldiagramm

In seiner komplexen Darstellung, die den Zusammenhang zwischen den drei Kenngrößen Verkehrsstärke, Verkehrsdichte und mittlere Geschwindigkeit herstellt, ist „das Fundamentaldiagramm [...] eine dreidimensionale Punktwolke, die mittels Projektion in drei zweidimensionalen Diagrammen dargestellt werden kann.“ [FGSV05]

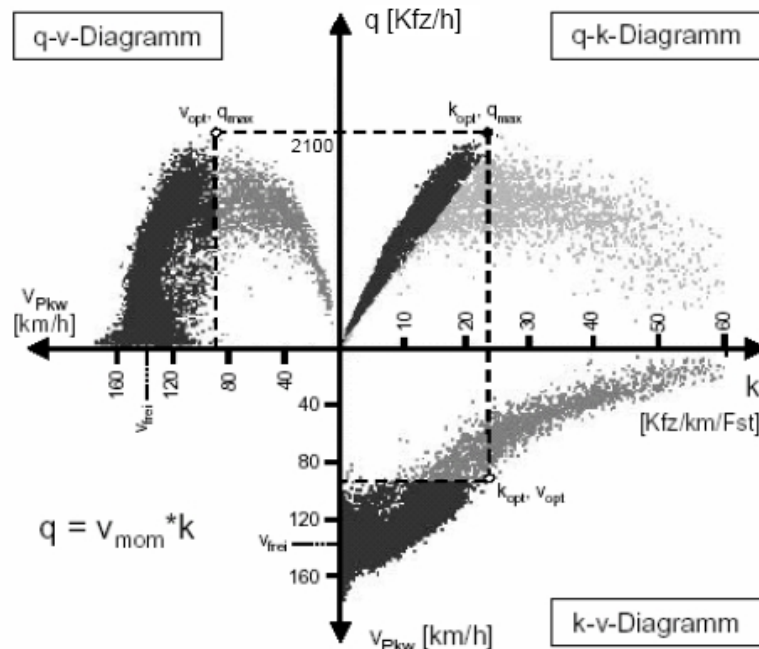


Abbildung 2: Fundamentaldiagramm [FGSV05]

Der mit der Kontinuumstheorie nach [LIWI55] beschriebene Zusammenhang zwischen der Verkehrsdichte und der Verkehrsstärke wird dabei mit dem sog. q-k-Diagramm, das in der komplexen Darstellung einen Quadranten bildet, anschaulich dargestellt. Der stabile Bereich (intakter Verkehrsfluss) wird dabei durch die linke Seite des Diagramms, der instabile Bereich (Staugefahr, Verkehrszusammenbruch ist möglich) durch die rechte Seite dargestellt. Es ist zu beachten, dass die Parameter q , v und k als statistische Grenzwerte zu betrachten sind. „Sie können theoretisch nur als Mittelwerte über unendlich lange Zeit oder über unendlich lange Strecke unter stationärem Verkehrszustand gemessen werden. Alle realen Messwerte sind nur als Annäherungen zu betrachten.“ [STVT00]

Von besonderer Bedeutung ist darüber hinaus das sog. q-v-Diagramm, da es zur Querschnittsbemessung von Straßen und zum Nachweis der Verkehrsqualität dient. Aus diesem Diagramm können Aussagen darüber generiert werden, bei welcher Verkehrsstärke noch eine bestimmte durchschnittliche Verkehrsflussgeschwindigkeit möglich ist. [SCHN97]

3. Deterministisches Warteschlangenmodell

Deterministische Warteschlangenmodelle basieren auf der Annahme, dass ein Engpass einer freien Strecke oder ein übergeordneter Verkehrsstrom an einem Knotenpunkt wie ein Bedienungsschalter funktioniert, an dem gleichmäßig, d.h. mit konstanter Zeitlücke, ankommende „Kunden“ (Fahrzeuge) gleichmäßig abgefertigt werden, d.h. Durchfahren des Engpasses mit festem zeitlichen Abstand zum Vorauszuhenden. Mit diesem Modell können z.B. Staulängen durch Gegenüberstellung der Zufluss- und Abflusssummenlinien oder auch die Gesamtverlustzeit, die sich als von beiden Summenlinien eingeschlossene

Fläche repräsentiert, ermittelt werden. Die mittlere Verlust- bzw. Wartezeit ist definiert als:

$$t_{w,mittel} = \frac{\sum t_w}{q \cdot T}$$

mit

$t_{w,mittel}$ = mittlere Verlustzeit/Wartezeit [s]

$\sum t_w$ = Gesamtwartezeit [s]

q = vorhandene Verkehrsstärke des Stroms [Kfz/h]

T = Betrachtungszeitraum [h]

2.3. Begriffsbestimmung Qualität

2.3.1. Allgemeiner Qualitätsbegriff

Eine allgemeine Definition des Qualitätsbegriffes bietet der EN ISO 9000:2005 - Standard, eine internationale Norm, die der Zertifizierung von Qualitätsmanagementsystemen dient:

„[Qualität ist der] Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt.“ [ISO505]

Dabei sind unter Merkmalen, „Eigenschaft[en] zum Erkennen oder zum Unterscheiden von Einheiten“ (laut DIN 55350- 12) zu verstehen, Anforderungen hingegen stehen für Voraussetzungen oder verpflichtende Erfordernisse bzw. Erwartungen, die die Einheit mindestens leisten muss.

Das Bezugsobjekt wird in diesen Beschreibungen als sogenannte ‚Einheit‘ bezeichnet. Eine Erläuterung liefert die Europannorm EN ISO 8402, die bis zum Inkrafttreten des ISO 9000-Standards eine allgemeine Definition des Qualitätsbegriffes enthielt, dann jedoch von diesem abgelöst wurde. Sie definiert den Begriff der ‚Einheit‘ als etwas, "das einzeln beschrieben und betrachtet werden kann. Eine Einheit kann also eine Tätigkeit oder ein Prozess sein ebenso wie ein Produkt, eine Organisation, ein System oder eine Person, oder irgendeine Kombination daraus.“ [QUAL10]

Eine zusätzliche Differenzierung des Qualitätsbegriffes bietet die Unterscheidung nach verschiedenen Perspektiven. Hierbei kann zwischen dem Erbringer einer Leistung (Lieferanten, Hersteller, Betreiber etc.) sowie dem Empfänger dieser Leistung (Kunde, Vertragspartner, interessierte Parteien etc.) unterschieden werden. Im Qualitätskreis nach EN 13816 [DSEN02] (europaweit gültige Norm für den Nachweis der Servicequalität von Verkehrsunternehmen im öffentlichen Personenverkehr) wird dieser Zusammenhang deutlich.

Qualitätskreis nach DIN EN 13816

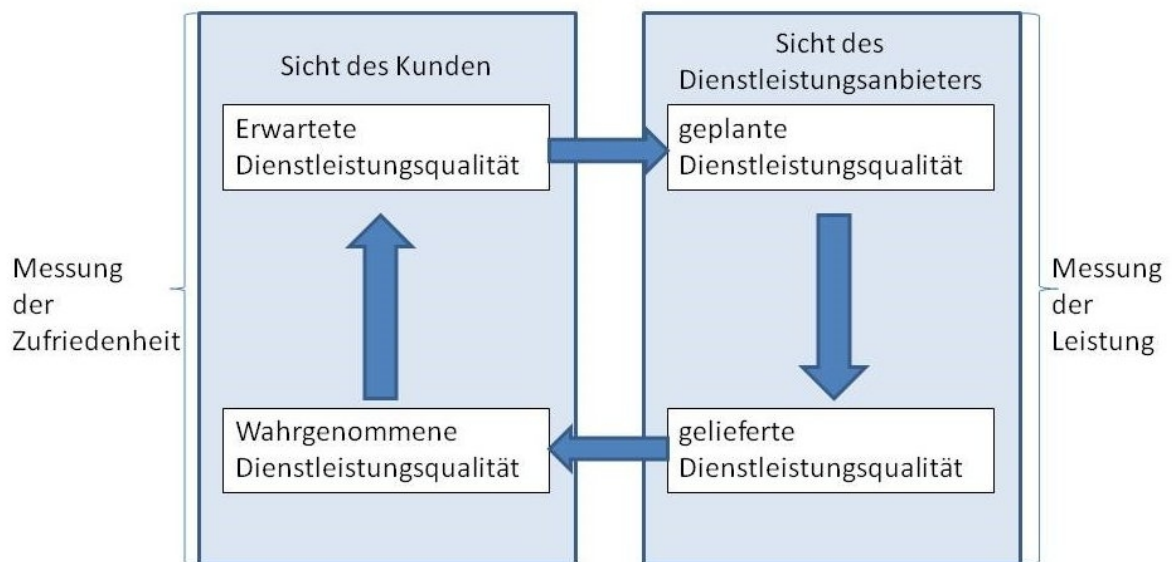


Abbildung 3: Qualitätskreis nach EN 13816 [DSEN02]

Die 4 Qualitätsdimensionen (erwartete, wahrgenommene, angestrebte und erbrachte Qualität) stellen dabei Anforderungen dar, die die jeweils folgende Qualitätsdimension zu erfüllen versucht, sodass sich ein Kreislauf der stetigen Adaption an die Wünsche des Leistungsempfängers bzw. an die produktionstechnischen Möglichkeiten des Leistungserbringers einstellt. Der Idealzustand bestünde, wenn zwischen den einzelnen Qualitäten keine Differenzen festzustellen wären.

Anhand der genannten Erweiterung des Qualitätsbegriffes zeigt sich, dass es eine Vielzahl möglicher Ausprägungen für das Verständnis von Qualität gibt, deren Verwendung im jeweiligen Kontext letztendlich davon abhängig ist, für wen die Qualitätsinformation bestimmt ist.

Speziell für den Verkehrsbereich spielt die dargestellte Komplexität eine erhebliche Rolle, wie im folgenden Abschnitt ersichtlich wird. Dennoch existiert auch hier eine allgemeine Definition der Verkehrsqualität, die den gängigen Regelwerken für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen innerhalb Deutschlands entnommen ist, aber auch in anderen Ländern in ähnlicher Ausführung Verwendung findet.

2.3.2. Verkehrsqualität

Der Begriff der Verkehrsqualität ist eine vielschichtige, sehr komplexe Größe, die je nach dem Bezugsobjekt, der Zielgruppe oder auch dem zeitlichen Rahmen variieren kann. Im Bereich des Verkehrsmanagements kann man zwischen drei Zeithorizonten unterscheiden:

- Strategisches Verkehrsmanagement
- Planerisches Verkehrsmanagement
- Operatives Verkehrsmanagement

Das strategische Verkehrsmanagement stellt hierbei den politischen und forschungswissenschaftlichen Aspekt im Hinblick auf die Erhaltung und den Ausbau der Mobilität für die Gesellschaft sowie die Reaktion auf Trends und Prognosen z.B. im Hinblick auf geringere Umweltbelastungen durch Einführung neuartiger Technologien etc. dar. Die Verkehrsqualität dient in diesem Rahmen vor allem dem Aufzeigen der Schwachstellen der bisherigen angebotenen Verkehrsmittel. Darauf aufbauend ist das planerische Verkehrsmanagement im Bereich der Ressourcenbemessung, d.h. der Bemessung und Bereitstellung vorhandener oder benötigter Ressourcen im Hinblick auf die Erfüllung der strategischen Vorstellungen tätig. Es stellt somit die Umsetzung der strategischen Vorstellungen unter Verwendung zumeist projektbezogener Maßnahmen (z.B. Baumaßnahmen) dar. Hierbei ist die Verkehrsqualität als Prüfinstrument für die vorhandenen Verkehrswege sowie als Bemessungsgrundlage für neue Maßnahmen anzusehen. Das dritte Glied in dieser Kette bildet das operative Verkehrsmanagement, das wiederum auf dem planerischen Management aufsetzt und dessen Aufgabe in der Prozessuntersuchung, d.h. in der Betrachtung des laufenden Verkehrsablaufs auf den zuvor geplanten Verkehrsmitteln und –wegen, liegt. Dementsprechend steht hier die qualitative Bewertung des tatsächlichen Verkehrsablaufs auf den angebotenen Verkehrsanlagen im Vordergrund. Der sich so ergebende Informationskreislauf zwischen dem strategischen, planerischen und operativen Verkehrsmanagement kann wie in Abbildung 4 dargestellt werden. Die Komplexität erhöht sich zudem durch die gegenseitige Beeinflussung der Bezugsobjekte (angebotene Verkehrsmittel, Ressourcen, Verkehrsablauf) – so beeinflusst die Qualität der vorhandenen Ressourcen sowohl die Qualität des Verkehrsablaufs als auch die der angebotenen Verkehrsmittel und umgekehrt auch der Verkehrsablauf bzw. die angebotenen Verkehrsmittel jeweils wieder die anderen beiden Bezugsobjekte.



Abbildung 4: Informationskreislauf des Verkehrsmanagement

Darüber hinaus kann auch die Verkehrsqualität für verschiedene Zielgruppen bewertet werden, die wiederum jeweils andere Ansprüche an die Verkehrsqualität stellen. So kann beispielsweise aus Sicht der Planer, der Betreiber, Verkehrslenkungs- und -leitzentralen, Verkehrsmanagementzentralen, Forschungseinrichtungen, Politiker aber auch aus Sicht der Verkehrsteilnehmer und Anwohner die Betrachtung vollzogen werden. Im Zusammenhang des operativen Verkehrsmanagements kann somit z.B. für die Betreiber der Verkehrsanlagen die Bewertung des vorliegenden Verkehrsablaufs für weitere Strategien oder Planungsmaßnahmen interessant sein - für den Verkehrsteilnehmer dagegen daraus generierte Informationen über die zu erwartende Fahrsituationen. Die Einbeziehung jeweils anderer Zielgruppen in die Verkehrsqualitätsbewertung kann z.B. entsprechend des Qualitätskreises nach Boltze [BOLT05] (angelehnt an den Qualitätskreis nach EN 13816, siehe Abbildung 5) erfolgen.

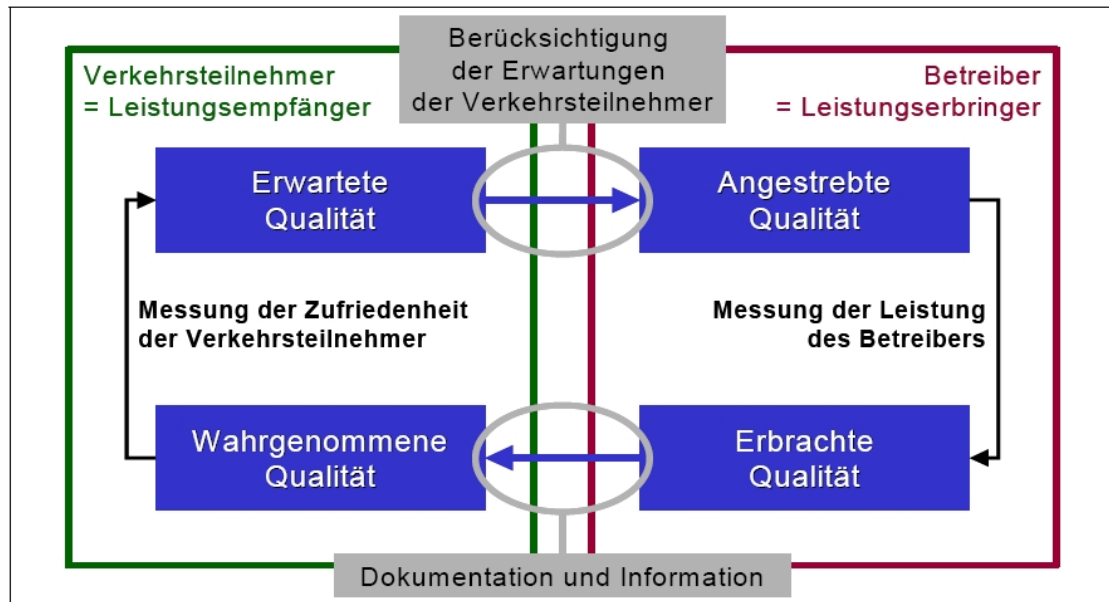


Abbildung 5: Verkehrsqualität-Kreislauf nach Boltze [BOLT05]

Die Qualität des Verkehrsablaufs wird laut dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), das in Deutschland im Bereich der Querschnittsbemessung von Straßen und ihrer Bewertung den Status eines Standardwerkes einnimmt, als „zusammenfassende Gütebeurteilung des Verkehrsflusses aus Sicht der Verkehrsteilnehmer“ definiert. Die Gütebeurteilung erfolgt hierbei anhand quantifizierbarer Größen – diese Größen stellen geeignete Kriterien zur Beschreibung des Verkehrsflusses dar und werden auch als Maße für die Qualität des Verkehrsablaufs (MQV) bezeichnet. „Sie beschreiben entweder die Bewegungsfreiheit der einzelnen Elemente in einem Verkehrsstrom oder deren Grad der Behinderung.“ [FGSV01]

Zu den Maßen für die Verkehrsqualität zählen u.a. folgende Größen:

- Geschwindigkeiten
- Reisezeiten
- Wartezeiten
- Anzahl an Halten
- Menge an Emissionen
- Staulängen
- Überholmöglichkeiten
- Parkplatzkapazitäten
- ...

Je nach Straßenverkehrsanlage können sich diese Größen in ihrer Ausprägung unterscheiden, sodass für verschiedene Verkehrsanlagen unterschiedliche Merkmale für die Gütebeurteilung von Bedeutung sein können. [FGSV01]

Eine genauere Betrachtung der Maße für die Verkehrsqualität erfolgt in Kapitel 3. Hierbei sollen die in den gängigen Regelwerken genutzten Qualitätskriterien sowie weitere, mögliche Kriterien zur Beschreibung des Verkehrsablaufs im Hinblick auf die Verwendung im Rahmen der Verkehrsqualitätsbewertung untersucht werden.

Für die weitere Bearbeitung soll an dieser Stelle eine Eingrenzung auf den Bereich des operativen Verkehrsmanagements erfolgen.

3. Analyse der Verfahren zur Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs

3.1. Vorgehensweise bei der Analyse

Zur Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs existieren in der Praxis verschiedenste Verfahren. Einige der Verfahren konnten sich im wissenschaftlichen Umfeld etablieren und werden im verkehrswissenschaftlichen Kontext als Standardwerke (Handbücher, Regelwerke, Richtlinien) angesehen, auch wenn diese rechtlich nicht festgesetzt und dementsprechend auch nicht verpflichtend sind. Die wichtigsten der in Deutschland gebräuchlichen Standardwerke sollen im folgenden Kapitel benannt, deren Vorgehensweise im Hinblick auf die Bewertung des Verkehrsablaufs erläutert sowie insbesondere die innerhalb der Verfahren verwendeten Qualitätskriterien herausgearbeitet werden. Dabei wird wie folgt vorgegangen: zunächst erfolgt zu jedem Werk eine kurze Einführung, die der Einordnung des Werkes hinsichtlich Zweck, Anwendungsgebiet und Nutzer dient. Es folgt eine kurze Darstellung des Grundprinzips der Bewertung nach dem jeweiligen Werk. Darauf aufbauend werden die innerhalb des Werkes befindlichen Bewertungsverfahren kurz mit den wichtigsten Formeln sowie dem Bewertungskonzept bzw. Bewertungsskalen (soweit vorhanden) erläutert. Sofern in dem Werk Bewertungsverfahren für unterschiedliche Verkehrsanlagen getrennt voneinander aufgeführt sind, werden diese entsprechend der Reihenfolge der im Kapitel 2 für den Stadtverkehr benannten charakteristischen Anlagen auch hier einzeln erläutert – zur besseren Erkennbarkeit der jeweils verwendeten Qualitätskriterien sind diese der Beschreibung vorangestellt (Kennzeichnung mittels ‚à‘). Ein kurzes Zwischenfazit zu jedem Werk rundet die Beschreibung ab und enthält sowohl die Vorteile als auch die Nachteile hinsichtlich einer Verwendung bzw. Anwendung dieses Werkes.

Es ergibt sich somit folgendes Analyse-Schema:

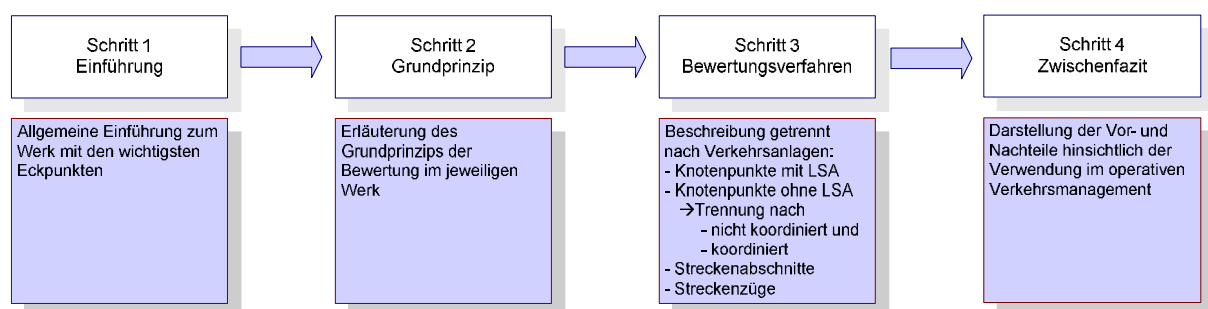


Abbildung 6: Analyse-Schema

Nach dem gleichen Konzept erfolgt daran anschließend die Darstellung zweier Standardwerke außerhalb Deutschlands. Der Grund für die Beschränkung auf lediglich zwei Werke liegt darin begründet, dass in einigen Ländern keine vergleichbaren Werke existieren oder zum Teil die Standards aus anderen Ländern übernommen wurden.

Die in Abbildung 7 dargestellte Matrix soll eine bessere Orientierung innerhalb der aufgeführten Standardwerke ermöglichen – sie zeigt die Abdeckung der verschiedenen Verkehrsanlagen hinsichtlich der in den Standardwerken enthaltenen Bewertungsverfahren und bietet somit einen strukturellen Wegweiser bei der Suche nach geeigneten Verfahren.

Standardwerke	Verkehrsanlagen			
	Knotenpunkte mit LSA	Knotenpunkte ohne LSA	Hauptverkehrsstraßen (Streckenabschnitte)	Hauptverkehrsstraßen (Streckenzüge)
Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)				
Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN)				
Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA)				
Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS)				
Fundamentaldiagramm				
Highway Capacity Manual (HCM)				
Schweizer Normen (SN)				

Legende:



= Verfahren ist enthalten



= wird nur benannt



= keine Angaben

Abbildung 7: Übersichtsmatrix

Im Anschluss an die Darstellung der Standardwerke werden darüber hinaus aktuelle Forschungstendenzen für die Bewertung der Verkehrsqualität getrennt nach den Verkehrsanlagen (Reihenfolge ebenfalls wie oben beschrieben) betrachtet. Diese Betrachtungen sollen dazu dienen, die vorhandenen Ideen kurz aufzuzeigen, besonders interessante Aspekte herauszustellen oder auch die Möglichkeiten der Weiterentwicklung und Erweiterung der in den Standardwerken vorhandenen Verfahren durch diese neuen Forschungsansätze darzulegen. Ein Zwischenfazit rundet auch hier jeweils die Betrachtungen ab und stellt dar, inwiefern die Ansätze für den wissenschaftlichen Kontext einzuordnen sind.

Den Abschluss des Kapitels bildet schließlich eine Untersuchung der in der Praxis des Verkehrsmanagements tatsächlich zur Anwendung kommenden Verfahren, die über eine Befragung von exemplarisch ausgewählten Verkehrsmanagementzentralen und anderen behördlichen Einrichtungen, die sich mit dem Verkehrsmanagement auseinandersetzen, realisiert wurde.

3.2. Standardwerke innerhalb Deutschlands

3.2.1. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)

Die im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen vorgestellten Verfahren dienen in erster Linie der verkehrstechnischen Bemessung von Straßen. Demnach befinden sich die Anwender hauptsächlich im Bereich der Verkehrsplanung, deren Ziel die Vermeidung oder Reduktion von vorhandenen Engpässen durch geeignete Maßnahmen darstellt: „Das HBS liefert mit der Beschreibung der durch Qualitätsstufen bewerteten Verkehrszustände Grundlagen, mit denen das Erreichen vorgegebener Mindestqualitäten nachgewiesen werden kann“ [FGSV01]. Neben der Beurteilung der Auswirkungen von Planungsentscheidungen können mit dem HBS auch die Auswirkungen der Entscheidungen über verkehrsbeeinflussende Maßnahmen beurteilt werden. Dementsprechend ist eine weitere Zielgruppe das strategische Verkehrsmanagement im Hinblick auf Entscheidungen von Verkehrssteuerungs- bzw. -lenkungsmaßnahmen. Darüber hinaus ist eine Bewertung mittels HBS für den politischen Bereich von Bedeutung: „Durch die Festlegung angestrebter Qualitätsstandards für die einzelnen Verkehrsarten können verkehrspolitische Zielvorstellungen transparent und deren Auswirkungen miteinander vergleichbar gemacht werden“ [FGSV01]. Die durch die Zusammenfassung in Qualitätsstufen verdeutlichten verkehrlichen Zielvorstellungen bilden dabei für die Öffentlichkeit eine verständliche Art der Qualitätsbeschreibung. Anzumerken ist, dass es sich hierbei um die zu erwartenden Verkehrsqualitäten einer Anlage, nicht um aktuell vorliegende handelt.

Grundprinzip der Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs nach HBS

Im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) erfolgt die Bewertung der zu erwartenden Verkehrsqualität generell nach dem Prinzip der Qualitätsstufeneinteilung (Level-of-Service). Dieses Prinzip wurde aus dem amerikanischen Highway Capacity Manual (HCM) übernommen und stellt ein 6-stufiges Bewertungsschema dar. Eine Erläuterung der einzelnen Qualitätsstufen, die laut [FGSV01] „in erster Linie im Hinblick auf die Ansprüche der Verkehrsteilnehmer an die Bewegungsfreiheit festgelegt“ wurden, befindet sich in Anlage A.

Für die Beurteilung der Verkehrsqualität werden bei diesem Schema die einzelnen Qualitätskriterien der Straßenverkehrsanlagen auf Basis der Abhängigkeit der Verkehrsqualität von der Verkehrsstärke quantifiziert. Der funktionale Zusammenhang, der sich so ergibt, kann entsprechend Abbildung 8 dargestellt werden. „Um Anforderungen bestimmter Qualitätsstufen zu erfüllen, sind Grenzwerte für Verkehrsstärken festzulegen, die unterhalb der Kapazität liegen.“ Diese als zulässige Verkehrsstärken q_{zul} bezeichneten Grenzwerte dürfen nicht überschritten werden, „wenn sich die Qualität des Verkehrsablaufs nicht über ein gewünschtes Maß der Qualität des Verkehrsablaufs hinaus verschlechtern soll“. [FGSV01]

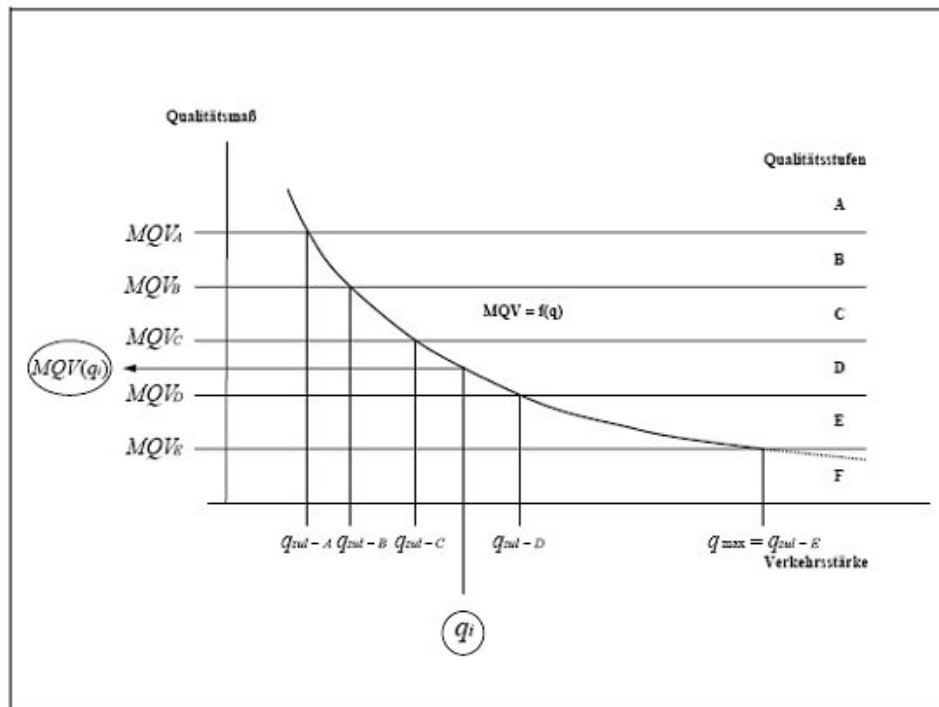


Abbildung 8: Prinzip der Anwendung des Bemessungsverfahrens nach dem 6-stufigen Konzept zur Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs nach HBS [FGSV01]

Im HBS wird die Qualität des Verkehrsablaufs zudem für jedes einzelne Straßenelement getrennt vorgenommen. Aufeinanderfolgende Abschnitte können so unterschiedliche Stufen aufweisen, die sich jedoch in der Regel um nicht mehr als eine Qualitätsstufe unterscheiden sollten. Zu beachten ist des Weiteren, dass das HBS innerhalb seiner Bewertungsverfahren nicht auf allgemeine äußere Bedingungen (Wetter- und Straßenverhältnisse) eingeht: „Die [...] Verfahren zur Bestimmung der Qualität des Verkehrsablaufs setzen grundsätzlich trockene Fahrbahnen und gute Sichtverhältnisse (Tageslicht) voraus.“ [FGSV01]

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der im HBS genutzten Qualitätskriterien für die verschiedenen Verkehrsanlagen. [FGSV01]

Art der Verkehrsanlage	Kriterium	MQV
Autobahnabschnitte außerhalb der Knotenpunkte	Auslastungsgrad	a
Planfreie Knotenpunkte	Auslastungsgrad	a
Zweistreifige Landstraßen	Verkehrsdichte	k
Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage	Mittlere Wartezeit	w
Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage	Mittlere Wartezeit	w
Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen	-	-
Straßengebundener öffentlicher Personennahverkehr	Beförderungsgeschwindigkeit	V _{ov}
	Störungswahrscheinlichkeit	p _s
	Sitzplatz-/Stehflächenverfügbarkeit	R _{st} , R _{st}
Anlagen für den Fahrradverkehr	-	-
Anlagen für den Fußgängerverkehr	Verkehrsdichte	k
Abfertigungsanlagen des ruhenden Verkehrs	Mittlere Ein-/Ausfahrdauer	\bar{t}_d

Tabelle 1: Qualitätskriterien für die verschiedenen Verkehrsanlagen nach HBS [FGSV01]

Begründet wird die Auswahl der jeweiligen Qualitätskriterien anhand spezifischer Eigenschaften der einzelnen Verkehrsanlagen. Im Folgenden sollen daher getrennt nach den im innerstädtischen Verkehr auftretenden Verkehrsanlagen des Kraftfahrzeugverkehrs die jeweiligen im HBS genutzten Qualitätskriterien genannt, Gründe für ihre Verwendung aufgezeigt sowie das jeweilige Bewertungsverfahren kurz erläutert werden.

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen

(1) Nicht koordinierte LSA

→ Kriterium: mittlere Wartezeit

Die Wartezeit wird definiert als die „gegenüber der freien Durchfahrt zusätzlich benötigte Zeit beim Befahren des Knotenpunktes mit Lichtsignalanlage.“ [FGSV01]

Die Nutzung des Kriteriums der mittleren Wartezeit als Maß für die Qualität des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit LSA wird im HBS durch den ständigen Wechsel von Freigabe und Sperrung begründet. Aufgrund dieses Wechsels ergeben sich an Lichtsignalanlagen zwangsläufig Behinderungen (Wartevorgänge) für die einzelnen Verkehrsteilnehmer, die wiederum mittels der Dauer eines Wartevorgangs (Wartezeit) quantitativ bewertet werden können. Da diese Wartezeit jedoch eine zufällige Größe darstellt, die für die einzelnen Verkehrsteilnehmer je nach Eintreffenszeit und Zeitpunkt der Abfertigung an der LSA unterschiedlich lang sein kann, wird häufig nur mit dem Mittelwert der Wartezeit gearbeitet. Die Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs mit Hilfe der Größe der mittleren Wartezeit gilt jedoch nur für nicht koordinierte Zufahrten: „Die Wartezeitgleichung kann nicht für koordinierte Lichtsignalanlagen angewendet werden, solange diese nicht übersättigt sind.“

Die mittlere Wartezeit setzt sich in ihrer Grundform aus 2 Teilen zusammen. „Der erste Teil repräsentiert die Wartezeit, die durch das periodische Wechseln des Signalbildes verursacht wird. Der zweite Teil der Formel berechnet die Wartezeit, die durch den Reststau am Ende der Umlaufzeit verursacht wird“ [STVT03]. Die mittlere Wartezeit kann auch als Funktion aus der Länge des Bemessungsintervalls T , der vorhandenen Verkehrsstärke q und der Sättigungsverkehrsstärke q_s betrachtet werden. Im HBS wird als Bemessungsintervall das 1-Stunde-Intervall, in dem die Verkehrsstärke niedriger eingesetzt wird, verwendet. Der Reststau wird durch eine durch mehrere Stützstellen beschriebene mehrteilige Regressionsfunktion ermittelt. Eine aus [FGSV01] entnommene Tabelle mit den Berechnungsgleichungen zur Bestimmung des mittleren Reststaus kann Anlage B entnommen werden. Die Gleichung der mittleren Wartezeit ergibt sich demnach zu:

$$w = w_I + w_{II}$$

$$w = \frac{t_U \cdot (1 - f)^2}{2 \cdot (1 - q / q_s)} + \frac{3600 \cdot N_{GE}}{f \cdot q_s}$$

mit

w = mittlere Wartezeit eines Kraftfahrzeugs [s]

t_U = Umlaufzeit [s]

f = Freigabezeitanteil = t_F / t_U [-]

q = Verkehrsstärke auf dem betreffenden Fahrstreifen [Fz/h]

q_s = zugehörige Sättigungsverkehrsstärke für den betreffenden Fahrstreifen [Fz/h]

N_{GE} = mittlerer Stau am Ende der Grünzeit für den betrachteten Untersuchungszeitraum (i.d.R. 1 Stunde) [Fz]

Eine Übersicht über die Methodik zur Berechnung der mittleren Wartezeit nach HBS und der dafür benötigten Einzeldaten kann zudem der Anlage C entnommen werden.

Bei der Verwendung der Wartezeitgleichung für die qualitative Bewertung des Verkehrsablaufs ist zu beachten, dass spezielle Konstellationen, wie z.B. bedingt verträgliche Links- oder Rechtsabbieger, die den Vorrang des Fußgängerverkehrs zu berücksichtigen haben, gesondert betrachtet werden müssen. Mit der genannten Wartezeitgleichung ist deren mittlere Wartezeit nicht bestimmbar. Die mittleren Wartezeiten von Bussen und Bahnen, Fußgängern und Radfahrern werden ebenfalls nach speziellen Formeln bestimmt – bzgl. weiterer Details sei an dieser Stelle jedoch auf die ausführliche Beschreibung innerhalb des HBS (Kapitel 6) verwiesen. [FGSV01]

(2) Koordinierte LSA

➤ Kriterium: Anzahl der Halte

Für koordinierte Zufahrten empfiehlt das HBS die Bewertung mittels des Prozentsatzes der erreichten Durchfahrten oder nach der Anzahl der Halte, deren Maximierung bzw. Minimierung letztendlich dem Ziel einer Koordinierung entspricht, sodass diese Kriterien als besonders geeignet erscheinen. Die Berechnung der Anzahl der Halte erfolgt dabei nach folgender Formel [FGSV01]:

$$n_H = \begin{cases} n'_H & \text{für } n'_H < m \\ m & \text{sonst} \end{cases}$$

$$n'_H = \frac{q \cdot (t_U - t_F + N_{GE} \cdot t_B) / 3600}{1 - q / q_S}$$

mit

m = mittlere Eintreffensanzahl während eines Umlaufs = $q \cdot t_U / 3600$ [Fz]

t_U = Umlaufzeit [s]

n_H = Anzahl der in einem Umlauf anhaltenden Fahrzeuge [Fz]

q = Verkehrsstärke auf dem betrachteten Fahrstreifen [Fz/h]

q_S = Sättigungsverkehrsstärke [Fz/h]

N_{GE} = Anzahl der gestauten Fahrzeuge bei Grünende [Fz]

t_B = Zeitbedarfswert [s/Fz]

t_F = Freigabezeit [s]

(3) Weitere Kriterien

➤ Kriterien:

- Sättigungsgrad
- Anzahl der Fahrzeuge im Stau
- Anteil überlasteter Umläufe

Das HBS räumt darüber hinaus weitere mögliche Kenngrößen für die Qualitätsbewertung an Knotenpunkten mit LSA ein. Als Beispiele werden die Anzahl der Fahrzeuge im Stau, der Sättigungsgrad oder auch der Anteil überlasteter Umläufe genannt. Der Sättigungsgrad beispielsweise wird für eine überschlägige Qualitätsbewertung vom HBS zusätzlich zur mittleren Wartezeit vorgeschlagen und gibt das „Verhältnis von Zufluss (Verkehrsstärke) zur Kapazität eines Anlagenteils (Fahrstreifen, Zufahrt) und für die gesamte Verkehrsanlage“ an. Die Berechnung des Sättigungsgrades erfolgt mit Hilfe der Formel [FGSV01]:

$$g = \frac{q \cdot t_U}{q_S \cdot t_F} = \frac{q}{f \cdot q_S}$$

mit

g	=	Sättigungsgrad [-]
t_U	=	Umlaufzeit [s]
f	=	Freigabezeitanteil = t_F / t_U [-]
q	=	Verkehrsstärke [Fz/h]
q_S	=	Sättigungsverkehrsstärke [Fz/h]
t_F	=	Freigabezeit [s]

Anhand des Sättigungsgrades können beispielsweise Aussagen über die Qualität des Abflusses am Knotenpunkt getroffen werden. So weisen z.B. stark unterschiedliche Sättigungsgrade für die maßgebenden Phasenströme auf eine ungünstige Freigabezeitaufteilung hin. „Nur bei etwa gleich großen Sättigungsgraden für die maßgebenden Phasenströme wird das Wartezeitminimum erreicht.“ Sättigungsgrade größer als 1 implizieren sehr lange Wartezeiten, sehr kleine Sättigungsgrade dagegen zu groß gewählte Umlaufzeiten. Darüber hinaus bestimmt der Sättigungsgrad den Einfluss der Reststauwartezeit innerhalb der Wartezeitbestimmung. Sättigungsgrade kleiner oder gleich 0,65 bedeuten demnach, dass die Größe des mittleren Reststaus vernachlässigt werden kann, für Sättigungsgrade zwischen 0,65 und 0,9 pendelt sich der Reststau auf einen konstanten Wert ein und ab einem Sättigungsgrad von 0,9 wächst der Reststau zeitabhängig (genau Angabe des Untersuchungszeitraums oder Anzahl der Umläufe ist nötig). [FGSV01]

(4) Bewertungskonzept

Zur Bestimmung der Verkehrsqualität an Knotenpunkten mit LSA werden vom HBS entsprechend dem allgemeinen Prinzip der Qualitätsstufeneinteilung für die einzelnen Verkehrsarten und -mittel Grenzwerte der mittleren Wartezeit angegeben, die eine Einordnung der vorliegenden Qualität ermöglichen. Darüber hinaus wird bei der Angabe der Grenzwerte auch zwischen koordinierten und nicht koordinierten Zufahrten unterschieden, wobei bei den koordinierten Zufahrten entsprechend die Grenzwerte des Prozentsatzes der Durchfahrten ohne Halt, jedoch nur für den Kraftfahrzeugverkehr, angegeben sind. Voraussetzung für die Anwendung der Verfahren ist die Kenntnis der Bemessungsverkehrsstärke. Die Grenzwerte können der Tabelle 2 entnommen werden. [FGSV01]

QSV	Zulässige mittlere Wartezeit w [s]				Prozentsatz der Durchfahrten ohne Halt [%]
	Straßen-gebundener ÖPNV	Fahrrad-verkehr	Fußgänger-verkehr	Kraftfahrzeug-verkehr (nicht koordinierte Zufahrten)	Kraftfahrzeugverkehr (koordinierte Zufahrten)
A	≤ 5	≤ 15	≤ 15	≤ 20	≥ 95
B	≤ 15	≤ 25	≤ 20	≤ 35	≥ 85
C	≤ 25	≤ 35	≤ 25	≤ 50	≥ 75
D	≤ 40	≤ 45	≤ 30	≤ 70	≥ 65
E	≤ 60	≤ 60	≤ 35	≤ 100	≥ 50*
F	> 60	> 60	> 35	> 100	< 50*

Tabelle 2: Grenzwerte für die Qualitätsstufen an Knotenpunkten mit LSA nach HBS [FGSV01]

Die Bedeutung der einzelnen Qualitätsstufen in diesem Zusammenhang kann der Anlage D entnommen werden.

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen

(1) Qualitätskriterien

à Kriterium:

- mittlere Wartezeit der Kfz
- Kapazitätsreserve
- Länge des Rückstaus (95%- oder 99%-Staulänge)

Auch bei Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage erfolgt die Bewertung der Verkehrsqualität anhand des Qualitätskriteriums der mittleren Wartezeit der Kraftfahrzeugströme. „Maßgeblich sind dabei die Wartezeiten bei gegebenen Weg- und Verkehrsbedingungen sowie bei guten Straßen-, Licht- und Witterungsverhältnissen“ [FGSV01]. Als weiteres Kriterium wird die sog. Kapazitätsreserve genannt, die der Differenz zwischen Kapazität und vorhandener Verkehrsstärke entspricht. Diese berechnet sich nach folgender Formel:

$$R_i = C_i - q_i$$

$$R_m = C_m - q_m$$

mit

- i = 1, 7, 6, 12, 5, 11, 4, 10
 m = Index für einen Mischstrom, z.B. 4+5+6 oder 10+11+12
 R_i, R_m = Kapazitätsreserve des Verkehrsstroms i und m [Pkw-E/h]
 q_i, q_m = Verkehrsstärke des Verkehrsstroms i und m [Pkw-E/h]
 C_i, C_m = Kapazität des Verkehrsstroms i und m (nach HBS-Abschnitt 7.5 oder 7.6) [Pkw-E/h]

Zwischen der mittleren Wartezeit der Nebenstromfahrzeuge und der Kapazitätsreserve besteht ein funktionaler Zusammenhang. Aus der Abhängigkeit der mittleren Wartezeit von der Kapazität und der Kapazitätsreserve können anhand der Abbildung 9 Näherungswerte für alle wartepflichtigen Verkehrsströme abgelesen werden. [FGSV01]

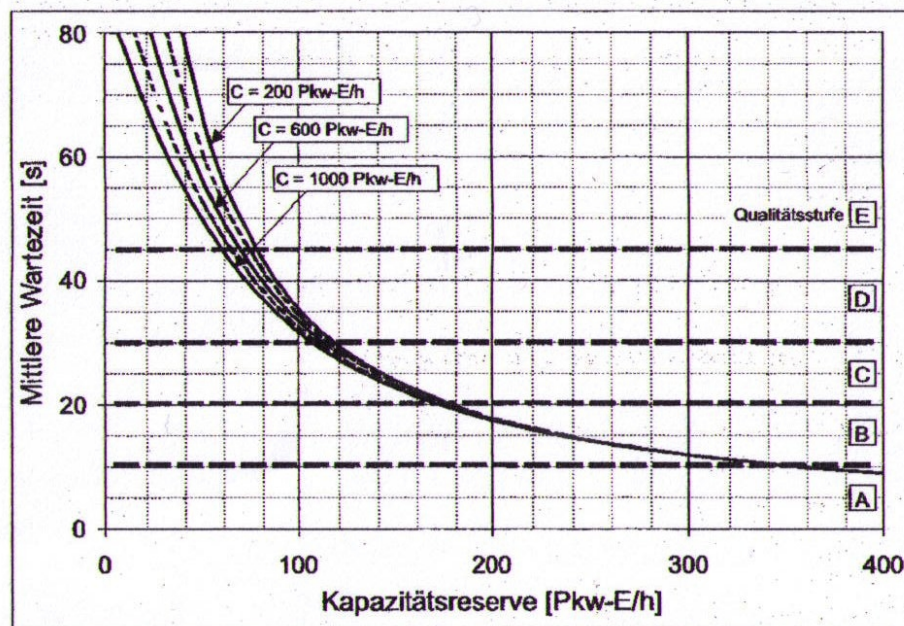


Abbildung 9: Mittlere Kapazität in Abhängigkeit von der Kapazitätsreserve R und der Kapazität C nach HBS [FGSV01]

Es wird vom HBS darauf hingewiesen, dass „die Länge des Staus, der sich in den untergeordneten Zufahrten durch die wartepflichtigen Fahrzeuge bildet, nicht generell als Qualitätskriterium angesehen werden [kann]“ [FGSV01]. Er kann jedoch ein Merkmal für die Beeinträchtigung anderer Verkehrsströme oder des Verkehrsflusses an einem benachbarten Knotenpunkt sein. Es wird dafür von der Länge des verfügbaren Abbiegestreifens ausgegangen. Diese Länge sollte für die 95%-Staulänge N_{95} (oder auch in sensiblen Fällen 99%-Staulänge) in [Pkw-Einheiten] (Pkw-Einheit = ca. 6 Meter) bemessen werden, sodass entsprechend in 95% (bzw. 99%) der Zeit des betrachteten Bemessungsintervalls der Stau kürzer als N_{95} Pkw-Einheiten, in 5% (bzw. 1%) der Zeit dagegen ist die Aufstellfläche ausreichend. Die Ermittlung der 95%- und 99%-Staulängen

erfolgt anhand von Diagrammen über den Sättigungsgrad und die Kapazität (siehe Abbildung 10).

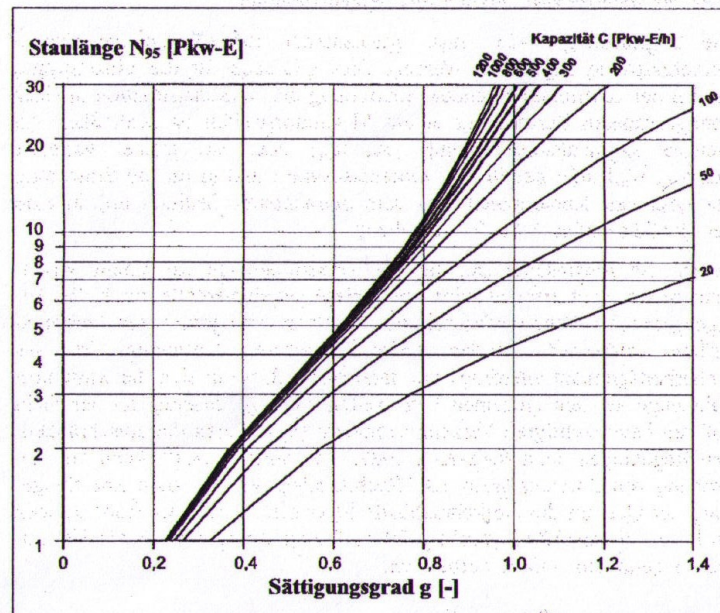


Abbildung 10: Staulänge N_{95} nach HBS [FGSV01]

(2) Bewertungskonzept

Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens ist die Kenntnis der Bemessungsverkehrsstärke jedes einzelnen Teilstromes aller Fahrzeugströme, da diese für die Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs herangezogen wird. Es wird überprüft, ob die ermittelte Bemessungsverkehrsstärke eine bei gewünschter Qualität des Verkehrsablaufs vorgegebene mittlere Wartezeit nicht übersteigt: $w_i \leq w$. Zur Bestimmung der Verkehrsqualität an Knotenpunkten ohne LSA sind wiederum Grenzwerte der mittleren Wartezeit für die Qualitätsstufen vom HBS vorgegeben (siehe Tabelle 3). [FGSV01]

QSV	Mittlere Wartezeit w [s]
A	≤ 10
B	≤ 20
C	≤ 30
D	≤ 45
E	> 45
F	- ¹⁾
¹⁾ Die Stufe F ist erreicht, wenn der Sättigungsgrad größer als 1 ist	

Tabelle 3: Grenzwerte für die Qualitätsstufen an Knotenpunkten ohne LSA nach HBS [FGSV01]

Die Beurteilung der Verkehrsqualität muss für jeden Verkehrsstrom getrennt vorgenommen werden, da das Qualitätsniveau aufgrund der verkehrsrechtlich festgelegten Rangfolge nicht für einzelne Verkehrsströme durch Steuerungsmaßnahmen zu beeinflussen ist. Daher müssen die Qualitäten der Nebenströme unabhängig vom Hauptstrom einzeln bestimmt werden. Die Bedeutung der einzelnen Stufen kann Anlage E entnommen werden.

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen

Für Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen liegen derzeit keine Bewertungsverfahren im HBS vor. Es werden jedoch mögliche Kriterien zur Beschreibung der Qualität des Verkehrsablaufs genannt. Dabei wird unterschieden zwischen „Hauptverkehrsstraßen, die Knotenpunkte zwischen gleichrangigen Straßen in kurzen Abständen enthalten“ und „übrigen Hauptverkehrsstraßen mit von Knotenpunkteinflüssen weitgehend freien Streckenabschnitten.“ [FGSV01]

(1) Hauptstraßen ohne Knotenpunkte (Streckenabschnitte)

→ Kriterien:

- Grad der Überlagerung durch örtliche Erschließungsfunktionen
- Verkehrsdichte
- Reisegeschwindigkeit

Die Hauptverkehrsstraßen ohne wesentliche Knotenpunkteinflüsse dienen vor allem der Realisierung der Verbindungsfunktion. Demnach wird sich die Qualität des Verkehrsablaufs auf diesen Strecken mit hoher Wahrscheinlichkeit „vor allem durch den Grad der Überlagerung der Verbindungsfunktion durch die örtliche Erschließungsfunktion“ bestimmen lassen. Neben den generellen Randbedingungen wie Fahrbahnquerschnitt und Verkehrstärke spielen hier auch Einflussgrößen wie die Häufigkeit der Ein- und Abbiegevorgänge, die Anzahl und Modalitäten der Halte-, Ein- und Ausparkvorgänge, die Häufigkeit und Dauer der Liefer- und Ladegeschäfte, ÖPNV-Halte, die Mitbenutzung der Fahrbahn durch Radfahrer und Straßenüberquerungen durch Fußgänger eine wesentliche, nicht zu vernachlässigende Rolle. Als geeignete Kriterien sind in diesem Zusammenhang die Verkehrsdichte, die die Bewegungsfreiheit der Kraftfahrer im Rahmen rechtlicher, örtlicher und verkehrlicher Randbedingungen kennzeichnet, sowie die (streckenbezogene) Reisegeschwindigkeit, die insbesondere die Erfüllung der Verbindungsfunktion einer Hauptverkehrsstraße beschreibt, denkbar. Genaue Berechnungsverfahren werden jedoch im HBS nicht aufgeführt. [FGSV01]

(2) Hauptstraßen mit Knotenpunkten (Streckenzüge)

→ Kriterien:

- Anzahl der Halte
- Wartezeiten

Bei den von Knotenpunkten beeinflussten Hauptverkehrsstraßen wird empfohlen die Qualität des Verkehrsablaufs für den Kraftfahrzeugverkehr anhand der Anzahl der Halte

und der Wartezeiten entsprechend der Bewertungsverfahren für Knotenpunkte zu bestimmen. Der Grund dafür liegt in der gegenüber der freien Strecke überwiegenden Einflussstärke der Knotenpunkte. [FGSV01]

Zwischenfazit

Das HBS stellt eines der wichtigsten Standardwerke in Deutschland dar. Seit seinem Erscheinen im Jahre 2000 hat es sich insbesondere bei den Straßenverkehrs- und -baubehörden etablieren können. Es bietet alle wesentlichen Informationen zur Bemessung von Verkehrsanlagen sowie zu deren Bewertung und erleichtert die Anwendung aufgrund einheitlicher Vorgehensweisen. Insbesondere die umfassende Darstellung der verschiedenen, vorkommenden Verkehrsanlagen sowie dazugehöriger Bewertungsskalen in einem einzigen Werk trägt dazu bei, dass es weiterhin als das Standardwerk schlechthin in Deutschland angesehen wird. Der Vorteil der Betrachtung der unterschiedlichen Verkehrsanlagen stellt jedoch gleichzeitig auch ein Manko des Werkes dar. Die Verkehrsanlagen werden als voneinander unabhängig untersucht und daher auch nur getrennt voneinander bewertet. Eine übergreifende Bewertung über das gesamte Straßennetz ist somit nur in sehr begrenztem Maße möglich. Rückwirkungen von Verkehrsanlagen auf andere, in der Nachbarschaft liegende Anlagen werden gänzlich außer Acht gelassen. Hinzu kommt, dass eine wesentliche Komponente des Stadtstraßennetzes im derzeitigen HBS fehlt - für Hauptverkehrsstraßen als die den größten Teil des Verkehrsaufkommens tragenden Verbindungsstücke zwischen den Knotenpunkten wird bisher noch kein Standardverfahren angegeben. Als besonders nachteilig muss darüber hinaus auch angemerkt werden, dass das HBS im Gegensatz zu seinem amerikanischen Pendant dem HCM die Bemessung der Anlagen in den Vordergrund stellt – auch die Bewertungsverfahren für die Verkehrsqualität sind darauf abgestimmt und zielen daher eher auf die Ermittlung der zu erwartenden Qualität einer Verkehrsanlage ab als auch die tatsächlich aktuell vorliegende Verkehrsqualität. Im Vergleich zum HCM ist das HBS dagegen einfacher zu handhaben – es besteht demnach in einigen Bereichen noch Bedarf zur Ergänzung und Weiterentwicklung. Da das HBS im Vergleich zum HCM zudem in sehr kurzer Zeit entwickelt wurde, besteht zusätzlich die Notwendigkeit weiterer Kalibrierungsarbeiten, um eine entsprechend internationale Anerkennung wie das HCM zu erlangen.

3.2.2. Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN)

Unter dem Betrachtungswinkel des Straßennetzes als Angebot an den Verkehrsteilnehmer entsprechend des Qualitätskreises nach Boltze stellt eine Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs eine Bewertung der Angebotsqualität dar. Die Analyse der Angebotsqualität kann dabei auf zwei Betrachtungsebenen erfolgen: Analyse der Angebotsqualität von Einzelanlagen oder des gesamten Netzes (vgl. [FRIE05]). Die Bewertung der Angebotsqualität von Einzelanlagen entspricht der Überprüfung einer Verkehrsanlage hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit bei einer bestimmten vorhandenen oder prognostizierten Verkehrsnachfrage – diese Vorgehensweise entspricht der Beurteilung nach dem HBS. Die Analyse der Angebotsqualität im gesamten Verkehrsnetz betrachtet dagegen die gesamte Ortsveränderung von einem Startpunkt zu einem Zielpunkt und ist somit Bestandteil einer umfassenden Erreichbarkeitsanalyse [FRIE05]. Grundlage hierfür sind die

Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN) 2008 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, die die „Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Leitfaden für die funktionale Gliederung des Straßennetzes (RAS-N)“ aus dem Jahre 1988 ersetzen. Die RIN bilden „eine methodische Planungshilfe für die integrierte Verkehrsnetzplanung, in der die relevanten Aspekte der Raum- und Umweltplanung einbezogen sind“ [FGSV08]. Sie ermöglichen die Analyse und Bewertung bestehender Verkehrsnetze sowie darüber hinaus die Konzeption zukünftiger Netze und sind damit von besonderer Relevanz für die Raumordnung, Landesplanung sowie die Stadt- und Regionalplanung. Der methodische Ansatz der RIN beruht auf der Einteilung der Straßen in Kategoriengruppen nach den Funktionen „Verbindung“, „Erschließung“ und „Aufenthalt“. Das Straßennetz wird darauf aufbauend hierarchisch in sog. Verbindungsfunktionsstufen, die sich im Wesentlichen aus dem System der zentralen Orte ableiten, gegliedert. „Über eine Verknüpfung von Kategoriengruppe und Verbindungsfunktionsstufe werden Ansprüche und Standards vor allem an die Verbindungsqualität (Reisegeschwindigkeiten, Umwegfaktoren) von Straßen vorgegeben, die grundlegende Eingangsgrößen für die Regelwerke zur Anlage von Straßen [...] liefern.“ [FGSV08]

Grundprinzip der Bewertung der Angebotsqualität nach RIN

Zur Beurteilung der Angebotsqualität von Relationen werden aus Nutzersicht relevante Kriterien und Kenngrößen herangezogen (siehe Tabelle 4).

Kriterium	Kenngröße
Zeitaufwand	<ul style="list-style-type: none"> • Luftliniengeschwindigkeit • Reisezeit • Reisezeitverhältnis (ÖV / Pkw)
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Reisekosten
Direktheit	<ul style="list-style-type: none"> • Umwegfaktor • Umsteigehäufigkeit (nur ÖV und intermodale Verkehre)
Zeitliche Verfügbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Bedienungshäufigkeit (nur ÖV und intermodale Verkehre) • Betriebszeit (nur ÖV und intermodale Verkehre)
Zuverlässigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Abweichung von Soll-Reisedauer
Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> • Anteil der Fahrtweite auf vergleichsweise sicheren Verkehrswegen
Komfort	<ul style="list-style-type: none"> • Sitzplatzverfügbarkeit (nur ÖV) • Ausstattung der Fahrzeuge

Tabelle 4: Qualitätskriterien der RIN nach [FRIE05]

Diese Kriterien entsprechen den allgemeinen Qualitätskriterien, wie sie auch in internationalen Standards (siehe z.B. ISO 9000) zur generellen Qualitätsbewertung üblich sind. Da die genannten Kriterien nur teilweise direkt mess- bzw. berechenbar sind, werden zusätzlich Kenngrößen angegeben: „Jedes Kriterium kann durch eine oder mehrere Kenngrößen messbar und so einer formalisierten Bewertung zugänglich gemacht werden“ [FRIE05]. Für die relationsbezogene Bewertung der Verkehrsqualität bieten die RIN für die Kriterien Zeitaufwand und Direktheit Orientierungswerte. Analog zum 6-stufigen Qualitätsstufenschema des HBS und HCM werden sog. Stufen der

Angebotsqualität (SAQ) festgelegt, mit deren Hilfe eine qualitative Einstufung vollständiger Verbindungen von der Quelle bis zur Senke möglich ist. [FGSV08]

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten und Streckenzügen

(1) Zeitaufwand

➤ Kriterien: Reisezeit, Luftliniengeschwindigkeit

Nutzt man beispielsweise den Zeitaufwand zur Bewertung einer Relation, so stellen sich die Reisedauer, die in den werktäglichen Hauptverkehrszeiten ohne temporäre Störungen (Baustellen, Unfälle) erhoben wurde, sowie die Luftliniengeschwindigkeit als Verhältnis von Luftlinienentfernung und Reisedauer als geeignete Größen dar.

Die Reisedauer umfasst den Zeitaufwand, den ein Verkehrsteilnehmer aufbringen muss, um von einem Startpunkt zu einem Zielpunkt zu gelangen [FGSV08]:

$$t_R = \sum ZD + BD + PD * AD$$

mit

t_R	=	Reisedauer [min]
ZD	=	Zugangsdauer [min]
BD	=	Beförderungsdauer [min]
PD	=	Parksuchdauer [min]
AD	=	Abgangsdauer [min]

Zur Abschätzung der Zugangs-, Parksuch- und Abgangsdauern werden Standardwerte verwendet, die in Abhängigkeit der Zentralitätsstufe bzw. der Einwohnerzahl und der Lage des Start- und Zielpunktes definiert sind. Die Beförderungsdauer ergibt sich aus empirischen Reisezeitmessungen der relevanten Streckenabschnitte.

Die Luftliniengeschwindigkeit ergibt sich entsprechend aus [FGSV08]:

$$V_{Luft} = \frac{LLge}{t_R}$$

mit

t_R	=	Reisedauer [h]
LLge	=	Luftlinienentfernung [km]
V_{Luft}	=	Luftliniengeschwindigkeit [km/h]

„Die Kenngröße Luftliniengeschwindigkeit berücksichtigt im Gegensatz zur Kenngröße Reisedauer explizit die zurückgelegte Entfernung und eignet sich damit für den Vergleich

des zeitlichen Aufwands zwischen Verbindungen unterschiedlicher Entfernung“ [FGSV08]. Für die Bewertung der Luftliniengeschwindigkeiten existieren Bemessungsdiagramme mit SAQ-Kurven (siehe Abbildung 11), die in diesem Fall für alle Verbindungsfunktionsstufen gleichermaßen gelten, da die Entfernung mit diesen korrespondiert.

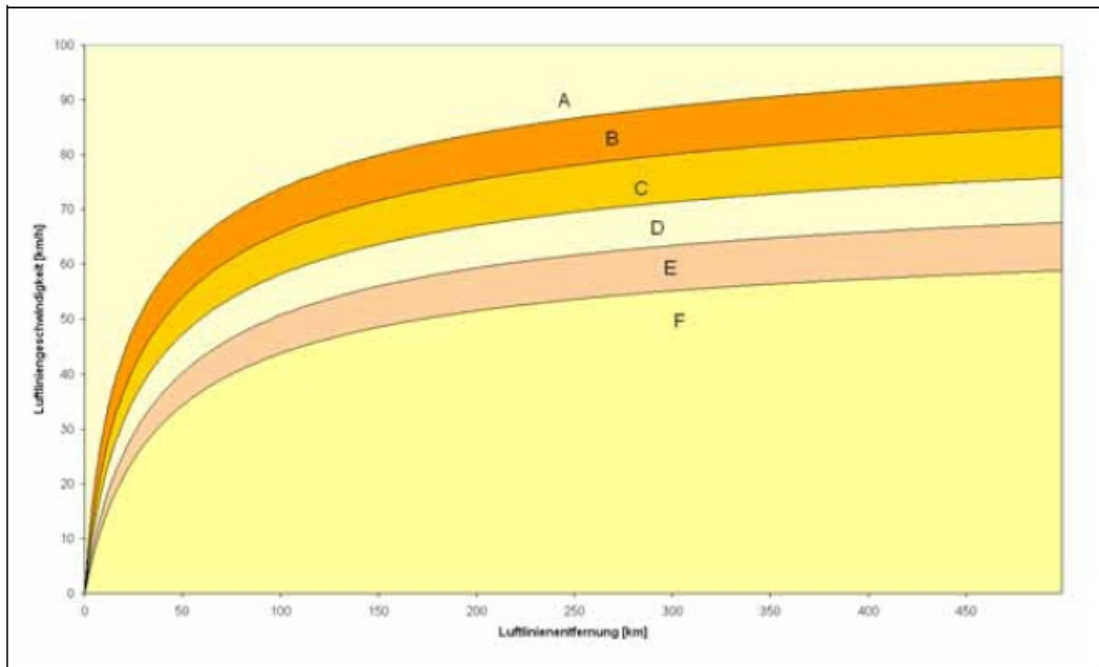


Abbildung 11: Qualitätsstufen für die Luftliniengeschwindigkeiten im Pkw-Verkehr [FGSV08]

(2) Kosten

„Belastbare Anhaltswerte zur Beurteilung der Reisekosten lassen sich schwer angeben, da diese wesentlich durch globale gesellschaftliche Vorgaben bestimmt werden.“ [FGSV08]

(3) Direktheit

à Kriterien: Umwegfaktor, Umsteigehäufigkeit (nur ÖV)

Der Umwegfaktor ergibt aus dem Quotienten von Reiseweite und Luftlinienentfernung:

$$UF = \frac{L_R}{LLge}$$

mit

L_R = Reiseweite [m]

$LLge$ = Luftlinienentfernung [m]

UF = Umwegfaktor [-]

Für die qualitative Bewertung der Direktheit steht ebenfalls ein Bemessungsdiagramm zur Verfügung, in dem der Umwegfaktor in Abhängigkeit von der Luftlinienentfernung in die entsprechenden Qualitätsstufen eingeordnet wird (siehe Abbildung 12). [FGSV08]

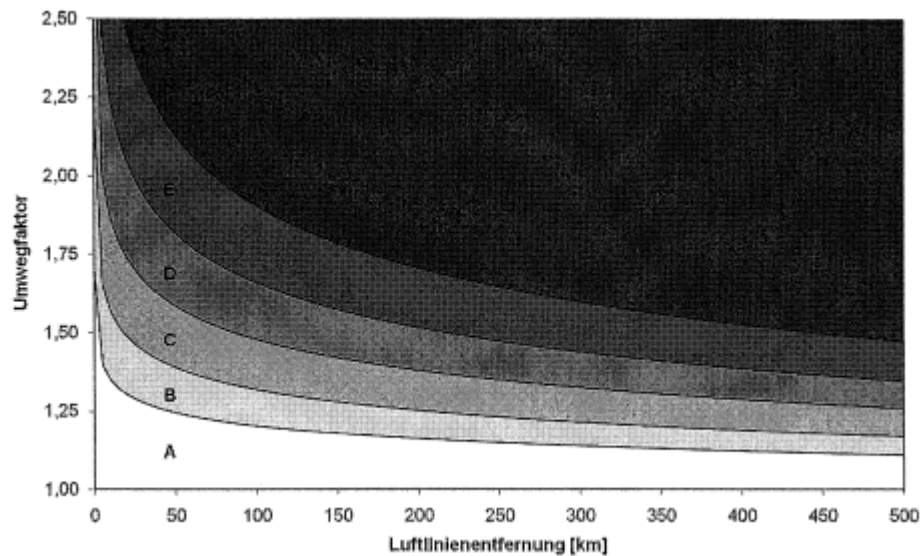


Abbildung 12: Qualitätsstufen für die Bewertung des Umwegfaktors [FGSV08]

(4) Zeitliche Verfügbarkeit

➤ Kriterien: Bedienungshäufigkeit (nur ÖV) , Betriebszeit (nur ÖV)

Da dieses Qualitätskriterium nur für den öffentlichen Verkehr und intermodale Verkehre zur Beschreibung des Verkehrsablaufs herangezogen wird, soll es an dieser Stelle zwar erwähnt, aber nicht weiter betrachtet werden. Grund dafür ist die Einschränkung auf den motorisierten Individualverkehr bei der Beurteilung des Verkehrsablaufs im Stadtverkehr. Im Individualverkehr wird davon ausgegangen, dass die Straßenverkehrsanlagen im Allgemeinen frei verfügbar und dementsprechend jederzeit nutzbar sind. [FGSV08]

(5) Zuverlässigkeit

➤ Kriterien: Abweichung von Soll-Reisedauer (Verlustzeiten)

Zuverlässigkeit beschreibt die Möglichkeit des planmäßigen Erreichens eines Reisezieles, die z.B. anhand der „Summe der Verspätungsminuten oder durch die Verteilung der Reisedauer einer Verbindung in einem Beobachtungszeitraum quantifiziert werden kann“ [FRIE05]. Dies kann jedoch nur über die Verfügbarkeit kontinuierlicher Reisedauermessungen realisiert werden. Eine ausreichende Grundlage für die Einbeziehung der Zuverlässigkeit in die Qualitätsbewertung fehlt jedoch derzeit noch. [FGSV08]

(6) Sicherheit

„Die Einbeziehung eines Kriteriums Sicherheit ist wünschenswert, jedoch fehlen hierfür bisher hinreichend belastbare Grundlagen über das Sicherheitsniveau verschiedener Netzelemente. [FGSV08]

(7) Komfort

➤ Kriterien: Sitzplatzverfügbarkeit (nur ÖV), Ausstattung der Fahrzeuge

Komfort stellt in diesem Sinne „weniger eine Eigenschaft einer Verbindung als vielmehr eine Eigenschaft der benutzten Verkehrsmittel und der Verknüpfungspunkte“ dar [FGSV08]. Auch hier fehlen derzeit noch ausreichende Grundlagen.

Zwischenfazit

Die RIN bilden im Regelwerksgefüge der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen die konzeptionellen Grundlagen des Straßenentwurfs und sind somit der Verkehrs- bzw. Raumplanung im Hinblick auf die strategische Entwicklung der Verkehrsnetze zuzuordnen. Mit der Weiterentwicklung der RAS-N (Leitfaden für die funktionale Gliederung des Straßennetzes) wurde auch die Bewertung der verbindungsbezogenen Angebotsqualität aufgenommen. In den RIN wird der Begriff der Verkehrsqualität einerseits im Zusammenhang mit der Verbindungsfunktion von Straßen (Verbindungsqualität eines Straßenzuges), andererseits bezogen auf das gesamte Netz (Angebotsqualität) gesehen. Die Verbindungsqualität bezieht sich unmittelbar auf die zu bewertenden Straßenverkehrsanlagen (Streckenabschnitte und Knotenpunkte bzw. Streckenzüge als Folge von Einzelanlagen) anhand der Einhaltung der aus der Netzplanung vorgegebenen Fahrgeschwindigkeiten. Die Angebotsqualität bezieht sich dagegen auf die Quelle-Ziel-Verbindung (Zeitaufwand für eine Relation im Netz). Die RIN bieten damit ein Verfahren zur übergreifenden Bewertung und das für verschiedene Verkehrsteilnehmer gleichermaßen. Von Vorteil ist darüber hinaus die Nutzung von Kriterien, die sich auf die Sicht der Nutzer beschränken. Als nachteilig muss indes gesehen werden, dass bisher noch keine ausreichend repräsentativen Beurteilungsskalen existieren – die angegebenen Skalen stellen derzeit nur am Beispiel ausgewählter Verbindungen abgeleitete Orientierungswerte dar, auch wenn die angegebene Methodik die Ableitung von Stufen zur Bewertung der Angebotsqualität von Verbindungen für ein Bestandsnetz anhand der Anhaltswerte ermöglicht. Die Festlegung genauer Zielgrößen obliegt dabei jedoch dem jeweiligen Entscheidungsträger. Trotz der Nennung weiterer Qualitätskriterien erfolgt eine Bewertung der Angebotsqualität in den RIN derzeit nur mittels der Kriterien Zeitaufwand und Direktheit.

3.2.3. Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA)

Aufgrund des enormen Einflusses der Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage auf den Ablauf des Verkehrs innerhalb städtischer Straßennetze und der damit verbundenen Sonderstellung, die diese Verkehrsanlagen bei der Bewertung des Verkehrsgeschehens einnehmen, wurde von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, die auch für das HBS verantwortlich zeichnet, eine spezielle, eigenständige Richtlinie ausgearbeitet. Die sog. RiLSA beschäftigt sich neben grundlegenden verkehrstechnischen Bestimmungen und Empfehlungen für die Einrichtung und den Betrieb von Lichtsignalanlagen auch mit der Qualität des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten im Hinblick auf die Untersuchung der Notwendigkeit einer Lichtsignalanlage sowie der Bewertung der vorliegenden Steuerung: „Lichtsignalanlagen werden in der Regel zur Erhöhung der Verkehrssicherheit oder zur Verbesserung der Qualität des Verkehrsablaufs eingerichtet“ [FGSV92]. Die RiLSA stellt somit eine wichtige Richtlinie für

den Verkehrsplanungsbereich im Hinblick auf eine strategische Verbesserung der Verkehrssteuerung bzw. -lenkung dar und findet dementsprechend vor allem bei Verkehrslenkungszentralen und Straßenbaubehörden Anwendung.

Grundprinzip der Bewertung nach RiLSA

Die Ziele des Einsatzes einer LSA werden bestimmt durch die Bedürfnisse, Interessen und Forderungen der einzelnen Verkehrsteilnehmergruppen (Kraftfahrer, Radfahrer, Fußgänger, Betreiber und Fahrgäste des ÖPNV) und betroffener Anlieger – so fordert jeder Verkehrsteilnehmer jeweils für sich einen sicheren, zügigen und angenehmen Verkehrsablauf durch die LSA. Hinzu kommen noch angestrebte Wirkungen im Hinblick auf eine hohe Verkehrssicherheit, eine gute Qualität des Verkehrsablaufs, einen niedrigen Kraftstoffverbrauch sowie möglichst geringe Umweltbeeinträchtigungen durch Abgas- und Lärmemissionen. Die Bewertung der vorliegenden Steuerung über die genannten Ziele ist jedoch nicht ohne weiteres möglich: „Da die meisten Zielgrößen nicht direkt messbar sind, werden [...] Kenngrößen oder daraus abgeleitete Größen des Verkehrsablaufs herangezogen, die direkt zu erfassen oder durch entsprechende Aufbereitung der Messdaten zu gewinnen sind.“ [FGSV92]

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit LSA

à Kriterien:

Zur Bewertung von Steuerungsverfahren werden in der RiLSA folgende Kenngrößen benannt:

- Anzahl der Halte
- Staulänge
- Wartezeit
- Verkehrsstärke
- Reisezeit
- Fahrgeschwindigkeit

Konkrete Berechnungsverfahren werden in der RiLSA nicht gegeben –es wird jedoch auf Modelle der Fachliteratur verwiesen. „In der Praxis werden häufig wegen des erforderlichen Mehraufwandes bei ihrer [der Modelle] Anwendung anstelle dieser Modelle die [folgenden] Kenngrößen unmittelbar verwendet.“ [FGSV92]

- Zeitlücke
- Belegungszeit
- Anforderungen durch Fußgänger und Radfahrer
- An- und Abmeldung durch Fahrzeuge

Ohne wesentlichen Mehraufwand lassen sich daraus durch entsprechende Aufbereitung der Belegungsgrad, die Verkehrsdichte, der Auslastungsgrad und der Belastungsquotient ermitteln.

Auch für diese unmittelbar verwendbaren Kenngrößen werden keine spezifizierten Berechnungsvorschriften vorgegeben. Stattdessen werden in der RiLSA Richtwerte zur Verfügung gestellt. So werden beispielsweise Wartezeiten von mehr als 2 bis 3 Minuten für einzelne wartepflichtige Kraftfahrzeuge sowie Wartezeiten für einzelne Fußgänger und Radfahrer länger als 60 Sekunden (Geduldsschwelle) als unzumutbar lang

angesehen. Auch die zeitlichen Abstände aufeinanderfolgender Fahrzeuge eines Fahrstroms, die als Nettozeitlücken über einen Detektor in der Knotenpunktzufahrt gemessen werden können, sollten z.B. bei der Zeitlückensteuerung feste Beträge (sog. Zeitlückenwerte) zwischen 2 und 5 Sekunden nicht unterschreiten, bei stark belasteten Knotenpunkten liegen diese zwischen 2 und 3 Sekunden. Werden die Abstände zwischen den Fahrzeugen dementsprechend zu gering, so ist die Nachfrage zu groß, sodass eine Anpassung der Freigabezeit zur Bewältigung des Verkehrsstromes erforderlich wird (jedoch nicht über eine festgelegte längste Freigabezeit hinaus).

Zwischenfazit

Die vorgegebenen Orientierungswerte können zwar durchaus für die Bewertung der Verkehrssteuerung, nicht jedoch für die tatsächliche Bewertung der vorliegenden Verkehrssituation herangezogen werden. Da die RiLSA in diesem Zusammenhang zudem keine konkreten Berechnungsverfahren bzw. Bewertungsskalen vorgibt, ist sie für eine Nutzung im Hinblick auf die Bewertung des Verkehrsablaufs für das operative Verkehrsmanagement nicht geeignet.

3.2.4. Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS)

Die EWS, die ebenfalls von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen herausgegeben wurde, bildet gegenüber HBS und RiLSA die volkswirtschaftliche Beurteilung von Straßenbauinvestitionen als Bewertungsschwerpunkt ab. Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen auf Basis der Nutzen-Kosten-Bewertung, z.B. durch Veränderungen der Fahrzeiten, Betriebskosten oder von Umweltbelastungen, sollen eine Hilfe bei Entscheidungen zur Durchführung von Maßnahmen, darstellen - sie sind vor allem für Betreiber und Verkehrsplaner, aber auch im Hinblick auf politische Investitionsmaßnahmen für Straßenbaubehörden von Interesse. Die Entwicklung geeigneter Maßnahmen, die Entlastungseffekte im bestehenden Netz bewirken sollen, bedarf der Ermittlung von Prognoseverkehrsstärken, die wiederum durch Verkehrsuntersuchungen ausgehend von der Analyse des bestehenden Verkehrsgeschehens erfolgen. Der Nutzen einer Maßnahme ergibt sich aus der Gegenüberstellung von Planungsfall (Realisierung der Maßnahme) und Vergleichsfall (Nichtrealisierung der Maßnahme). Demnach muss für die Durchführung der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung zunächst der vorliegende Verkehrsablauf als Vergleichsfall betrachtet werden.

Grundprinzip der Bewertung nach EWS

Für die Betrachtung der vorliegenden Verkehrssituation bildet die „funktionale Beschreibung des Verkehrsablaufs nach Verkehrsstärken, Verkehrszusammensetzung und Geschwindigkeiten der Fahrzeuggruppen in Abhängigkeit von den Streckenmerkmalen [...] die Grundlage zur Ermittlung des Mengengerüsts für die Ermittlung der Nutzen“ [FGSV97]. Die Nutzen einer Maßnahme sind auf den einzelnen Netzbestandteilen nicht gleichmäßig, wodurch für die Betrachtungen eine Unterteilung nach Abschnitten erforderlich wird – im EWS wird daher, wie auch im HBS, getrennt nach Straßentypen und Fahrzeuggruppen sowie zusätzlich auch getrennt nach Fahrtrichtungen vorgegangen. Die Straßentypen für Innerortstraßen unterteilen sich grob nach vorfahrtberechtigten Innerortstraßen ohne und mit Behinderung. Eine Behinderung kann

hierbei durch Knotenpunkteinflüsse, ruhenden Verkehr und ÖPNV oder auch fehlende Vorfahrt charakterisiert sein. Eine Übersicht über die betrachteten Straßentypen für Innerortstraßen und die Fahrzeuggruppen, aus denen sich der Kraftfahrzeugverkehr zusammensetzt, befindet sich im EWS auf Seite 17, Tabelle 7 sowie im Abschnitt 4.3.1 auf Seite 18. [FGSV97]

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten nach EWS

à Kriterium:

- Verkehrsstärke
- Verkehrszusammensetzung

Die Berechnung der Verkehrsstärke je Fahrtrichtung erfolgt allgemein nach der Gleichung [FGSV97]:

$$Q = k \cdot \frac{DTV}{RI}$$

mit

DTV = durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge [Kfz/24h]

RI = Richtung [-]

Q = Verkehrsstärke je Fahrtrichtung [Kfz/h]

k = $DTV_{\text{Gesamtverkehr}}$ - und $DTV_{\text{Güterverkehr}}$ - Anteile [-]

Dabei ist der durchschnittliche tägliche Verkehr (DTV) für den Querschnitt (Summe beider Fahrtrichtungen) definiert und wird nach sog. Fahrtzweckgruppen (Normalwerktage, Urlaubswerktage, Sonn- und Feiertage) sowie innerhalb der Unterteilung nochmals nach Gesamtverkehr und Güterverkehr unterschieden. Zur Berücksichtigung der Richtung des Verkehrs ist der Faktor RI enthalten:

RI = 2 à Straße mit Verkehr in beiden Richtungen (Gegenverkehrsfahrbahn)

RI = 1 à Straße mit Verkehr in nur einer Richtung (Einbahnstraße)

„In Abhängigkeit von der Fahrzeuggruppe (Gesamtverkehr oder Güterverkehr), der Fahrtzweckgruppe [...] und der täglichen Verkehrsbelastung sind aus Anlage F die $DTV_{\text{Gesamtverkehr}}$ - und $DTV_{\text{Güterverkehr}}$ - Anteile k [...] getrennt für [die verschiedenen Verkehrsanlagen] abzulesen“ [FGSV97]. Um Schwankungen der Verkehrsstärke innerhalb eines Jahres zu berücksichtigen, wurden Zeitabschnitte t mit der Dauer T [h/a] mit annähernd gleicher Verkehrsstärke zusammengefasst. Die Dauer T der einzelnen Zeitabschnitte t in einem Jahr kann ebenfalls der Anlage F entnommen werden. [FGSV97]

➤ Kriterium: Geschwindigkeit

Die Berechnung der Geschwindigkeit erfolgt auf den einzelnen Netzabschnitten für die Fahrzeuggruppen P (Pkw und Krafträder) und GV (Güterverkehr) sowie für die Fahrtrichtung getrennt, d.h. die Verkehrsstärken Q beziehen sich hier nicht auf einen Fahrbahnquerschnitt, sondern nur auf eine Richtung. Einflussgrößen auf die maßgebenden Fahrgeschwindigkeiten sind dabei die Verkehrsstärken der Fahrzeuggruppe P je Fahrtrichtung $Q_{P,V,i}$ in [Kfz/h], die Güterverkehrsstärken je Fahrtrichtung $Q_{G,V,i}$ in [Kfz/h], der Straßentyp (siehe dazu die Tabellen 6 und 7 im EWS), die zulässige Höchstgeschwindigkeit v_{zul} in [km/h], die mittlere Längsneigung s des Abschnittes je Fahrtrichtung in [%] (s positiv: Steigung; s negativ: Gefälle) sowie die Kurvigkeit des Abschnittes KU in [gon/km].

Zur Ermittlung der Geschwindigkeiten auf den jeweiligen Netzabschnitten werden im EWS Gleichungen angegeben. Die Tabelle mit den Geschwindigkeitsfunktionen für die Fahrzeuggruppen P und GV auf Innerortstraßen kann dem EWS auf Seite 26 bis 28 (siehe dort Tabelle 13) entnommen werden. Damit liegt insofern eine Bewertungsskala vor, als dass die anzusetzenden Geschwindigkeiten für 3 Kategorien (Empirie, Übergang und Stau) unterschieden werden. Diese 3 Kategorien ergeben sich aus dem Bereich der gültigen Verkehrsstärken. [FGSV97]

Zwischenfazit

Die EWS stellen eine reine Analyse-Grundlage dar. Sie ermöglichen die Beurteilung von Straßenbauinvestitionen bzw. stellen eine Hilfe bei der Entscheidung dar, ob eine Maßnahme und welche von mehreren möglichen Maßnahmen durchgeführt werden soll. Sie bieten sich demnach für die Entscheidungsfindung hinsichtlich des strategischen Verkehrsmanagements an. Für die Beurteilung im Sinne der operativen Verkehrsqualitätsbewertung des Verkehrsablaufs sind sie dagegen weniger geeignet, da sie sich auf Schätzverfahren und angenommene durchschnittliche Tagesverkehre (Verkehrsprognose) stützen anstatt auf operativ erfasste Verkehrsdaten. Die vorhandene Bewertungsskala dient dabei lediglich der Festsetzung oberer und unterer Grenzen bei der Wahl der maßgebenden Fahrgeschwindigkeiten – für die Nutzung im operativen Management ist sie jedoch nicht zweckdienlich, da sie nicht die Bewertung der Verkehrsqualität fokussiert, sondern eine reine Entscheidungshilfe darstellt.

3.2.5. Bewertungsverfahren auf Grundlage des Fundamental-diagramm

Mit Hilfe der im Grundlagenkapitel erläuterten Zusammenhänge des Fundamentaldiagramms (Verkehrsstärke, Verkehrsdichte, Geschwindigkeit) kann eine allgemeine Verknüpfung zwischen der Verkehrsqualität, der Anlagenausnutzung und der Verkehrsquantität (Verkehrsstärke) hergestellt werden (siehe Abbildung 13).

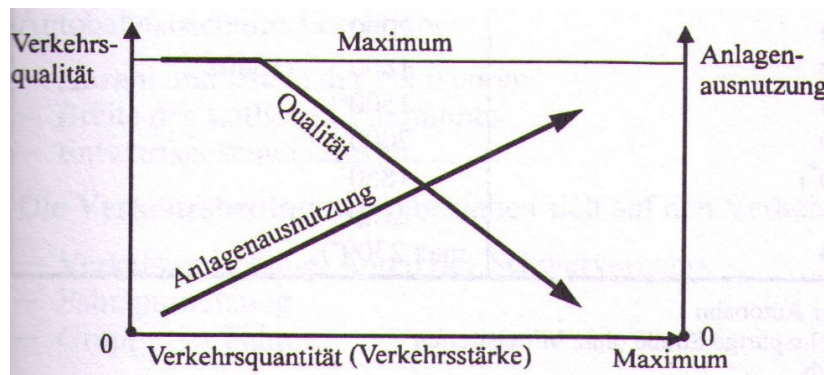


Abbildung 13: Allgemeiner Zusammenhang zwischen Verkehrsqualität, Anlagenausnutzung und Verkehrsquantität nach [SCHN97]

Anwendung findet die Bewertung mittels Fundamentaldiagramm bei Straßenbaubehörden in der Verkehrsplanung und bei Verkehrsmanagementzentralen.

Grundprinzip der Bewertung des Verkehrsablaufs mittels Fundamentaldiagramm

Generell sind annehmbare Verkehrsqualitäten für die freie Strecke nur im stabilen Bereich vor Erreichen der Durchlassfähigkeit gegeben. Der gesamte instabile Bereich zeugt dagegen von einem völlig ungenügenden Qualitätsniveau [SCHN97]. Eine Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs erfolgt demnach durch Aufteilung der Kurvendarstellung in verschiedene Bereiche, die den Verkehrsablauf bzw. –zustand an diesen Stellen charakterisieren. Neben der einfachen Unterteilung in einen stabilen und instabilen Bereich existieren jedoch auch differenziertere Bewertungsansätze. Aus einer Fülle möglicher Ansätze seien hier drei kurz erläutert.

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten und Streckenzügen

à Kriterien:

- Verkehrsdichte
- Verkehrsstärke
- mittlere Geschwindigkeit

(1) Drei-Phasen-Theorie nach Kerner

[KERN00] unterscheidet die Verkehrszustände nach Free Flow (freier Verkehr), Synchronized Flow (synchronisierter Verkehr) und Wide Moving Jam (gestauter Verkehr). „Als Unterscheidungsmerkmal dient dabei das Kriterium, ob die Verkehrsteilnehmer noch überholen können oder nicht“ [FGSV05]. Beim synchronisierten Verkehr ist der Verkehr auf allen Fahrstreifen gleich (synchron), Möglichkeiten zum Überholen existieren kaum. Der synchronisierte Verkehr wird durch die minimale und die maximale Verkehrsstärke begrenzt – innerhalb des Bereiches unterscheidet [KERN00] nach

- zeitlich stationärer, homogener Verkehr (Geschwindigkeit und Verkehrsstärke sind über mehrere Minuten konstant),
- zeitlich stationärer, aber inhomogener Verkehr (Geschwindigkeit über mehrere Minuten konstant, aber Verkehrsstärke schwankend),

- nicht stationärer Verkehr (Geschwindigkeit und Verkehrsstärke stark schwankend).

Die Verkehrszustände nach Kerner sind in Abbildung 14 dargestellt.

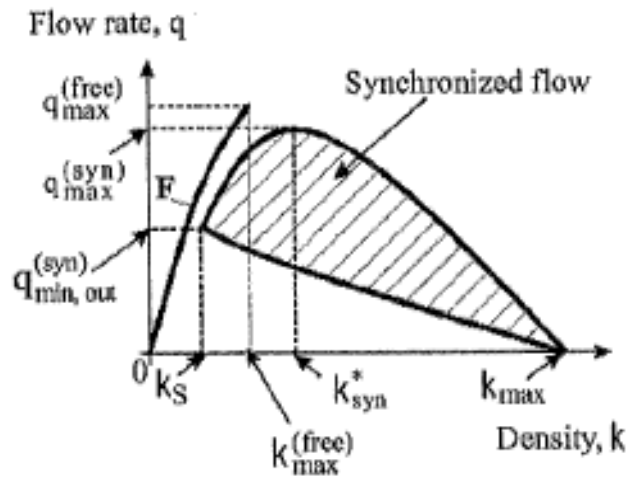


Abbildung 14: Verkehrszustände nach Kerner [KERN00]

(2) Zustandsformen nach Schnabel und Lohse

[SCHN97] unterteilen die einzelnen möglichen Zustände des Verkehrs vorrangig nach der Verkehrsdichte, da der Kraftfahrer zu einem oder mehreren vorausfahrenden, gegebenenfalls auch zu folgenden Fahrzeugen geschwindigkeitsabhängig den Abstand wählen muss. Als Zustandsformen unterscheiden sie den freien bzw. nichtgebundenen Verkehr, teilgebundenen Verkehr, gebundenen Verkehr sowie Überfüllung (Stau bzw. „Stop-and-Go“). Anlage G (siehe Schnabel und Lohse Seite 73) enthält eine Übersicht über die Charakteristika der einzelnen Zustände. Das Fundamentaldiagramm (in diesem Fall der funktionale Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und der Verkehrsdichte) kann entsprechend dieser vier Zustandsformen, wie in Abbildung 15 dargestellt, eingeteilt werden.

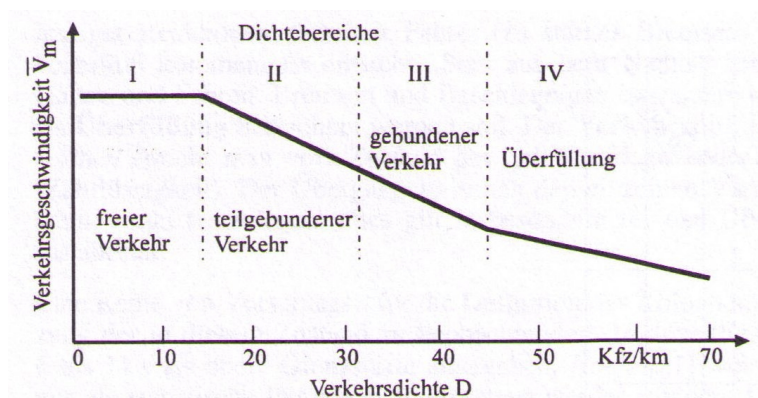


Abbildung 15: Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte mit den Zustandsformen des Verkehrs nach [SCHN97]

(3) Verkehrszustände nach Kim und Keller

[KIKE01] nutzen für ihre sehr detaillierte Einteilung der Verkehrszustände den Bereich des Fundamentaldiagramms, der die Abhängigkeit zwischen der Verkehrsstärke und der Verkehrsdichte abbildet. Sie unterscheiden zwischen freiem, teilgebundenem, synchronem, stockendem, gestautem und stehendem Verkehr (eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Stufen befindet sich in Anlage H). Die Unterteilung stellt sich bildlich entsprechend Abbildung 16 dar.

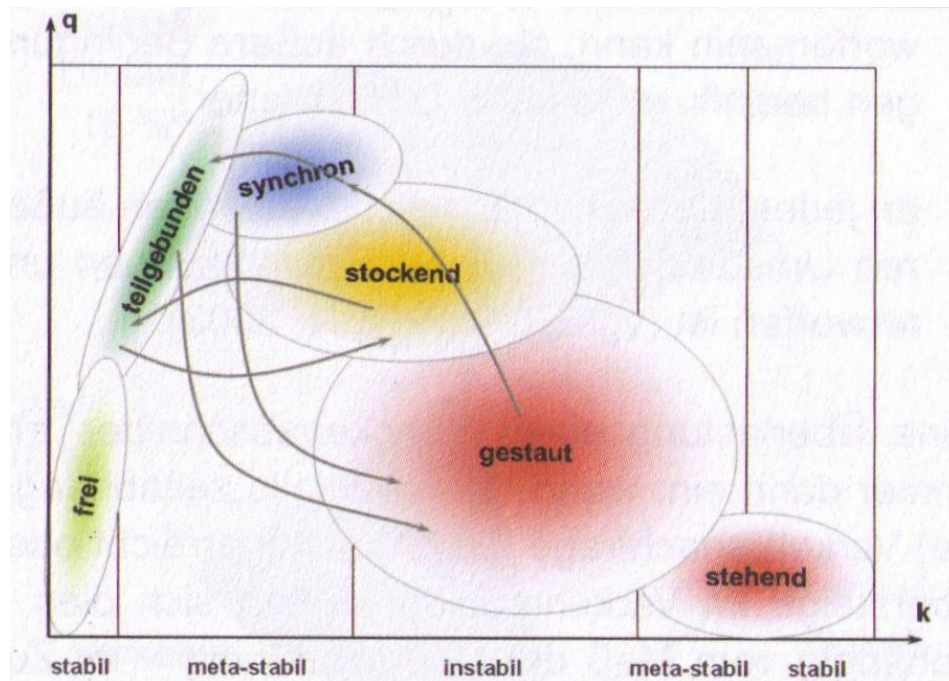


Abbildung 16: Verkehrszustände im Fundamentaldiagramm nach [KIKE01]

Zwischenfazit

Das Fundamentaldiagramm bietet durch die anschauliche Darstellung des funktionalen Zusammenhangs zwischen Verkehrsstärke, -dichte und -geschwindigkeit die Voraussetzung für das Verständnis der Dynamik des Verkehrsflusses und der sie beeinflussenden Parameter. Vorteil des Fundamentaldiagramms ist die Möglichkeit der Nutzung sowohl für den operativen und strategischen als den planerischen Verkehrsmanagementbereich. So dient beispielsweise das Verkehrsstärke-Geschwindigkeit-Diagramm, das bei verkehrlich überlasteten Querschnitten eine näherungsweise parabelförmige Einhüllende der Punktwolke aufweist, als Grundlage zur Dimensionierung von Straßenquerschnitten in der Verkehrsplanung. Durch Auswertung des teilgebundenen Bereichs aus dem Bereich des Verkehrs mit hoher Geschwindigkeit können dafür anhand des Fundamentaldiagramms die Kapazitäten ermittelt werden. Bei der Verkehrssteuerung ist dagegen insbesondere die zeitliche Entwicklung eines Verkehrszustandes, die anhand der Messdaten zu beschreiben ist, von Interesse. Das Fundamentaldiagramm ermöglicht diesbezüglich eine Analyse der Dynamik des Verkehrsflusses vor und nach dem Zusammenbruch. Als Maß für die Qualität des Verkehrsablaufs dient die mittlere Geschwindigkeit im Verkehrsdichte-Geschwindigkeit-Diagramm. Nachteilig wirkt sich dabei beim Fundamentaldiagramm aus, dass häufig im Übergangsbereich nur wenige Messpunkte vorliegen und dadurch das Fundamentaldiagramm in diesem Bereich falsch repräsentiert wird. Auch die Schätzung

der Kapazität, die vom Datenumfang abhängig ist, ist daher nicht immer zuverlässig, sodass die Beschreibung des Verkehrsablaufs bei hohen Verkehrsstärken oftmals unrealistisch ist. Ein weiterer negativer Punkt ist, dass die verschiedenen Ansätze auf Verkehrszustände mit zusätzlichen Parametern (z.B. Lkw-Anteil, Steigung etc.) nicht übertragbar sind. [STVT00]

3.3. Weitere Standardwerke außerhalb Deutschlands

3.3.1. Das amerikanische Highway Capacity Manual (HCM)

Das amerikanische Highway Capacity Manual (HCM) gilt als Urvater der Standardwerke zur Bemessung und Bewertung von Straßenverkehrsanlagen. Die erste Version des HCM erschien im Jahre 1950, im Jahr 2000 wurde es dann unter der Federführung des Transportation Research Board (TRB) überarbeitet und als HCM 2000 veröffentlicht. Das HCM 2000 gilt weltweit als Vorbild für Regelwerke in der Straßenverkehrstechnik. So wurde beispielsweise das deutsche HBS als ein vergleichbares Regelwerk in Anlehnung an das HCM erstellt und zeigt z.B. bei der Bemessung und Bewertung von Lichtsignalanlagen einzig bei der Berechnung der Zwischenzeiten und der Definition der Qualitätsstufen wesentliche Unterschiede. Ansonsten unterscheiden sich die beiden Werke nur wenig voneinander, abgesehen von der im HCM 2000 „strengeren“ Beurteilung der Verkehrsqualität. [HCMA00] [STVT03]

Grundprinzip der Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs nach HCM 2000

Der Qualitätsnachweis im HCM 2000 erfolgt auf Grundlage des vom HCM im Jahre 1965 erstmals eingeführten Konzepts der Qualitätsstufeneinteilung (Level-of-Service, LOS), das sich weltweit durchgesetzt hat und unter Anpassung an die jeweiligen Bedingungen der Straßenverkehrsanlagen auch in anderen Ländern als Bemessungsgrundlage übernommen wurde. Ziel dieses Konzeptes ist die qualitative Bewertung von Verkehrsanlagen. Im Gegensatz zum HBS wird beim HCM die Bewertung, d.h. der Kapazitätsnachweis, von vorhandenen Verkehrsanlagen mit den Qualitätsstufen, fokussiert – die Bemessung (Dimensionierung), d.h. der Entwurf von Verkehrsanlagen, steht nie wie beim HBS im Vordergrund. Anwendergruppen des HCM sind Verkehrsplaner, Straßenbaubehörden und Betreiber sowie Verkehrsmanagementzentralen. [HCMA00]

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen

(1) Nicht koordinierte Lichtsignalanlagen

à Kriterien:

- mittlere Wartezeit
- Reststau

Die Verkehrsqualität wird anhand der zu erwartenden mittleren Wartezeiten für jeden Verkehrsstrom einzeln beurteilt - zur Berechnung der mittleren Wartezeit wird im HCM nach der gleichen Grundformel wie im HBS verfahren (siehe Abbildung 17). Demnach setzt sich auch hier die Wartezeit aus der Wartezeit, die durch das periodische Wechseln des Signalbildes verursacht wird und der Wartezeit, die durch den Reststau am Ende der Wartezeit verursacht wird, zusammen. Die Berechnung des Reststaus erfolgt im

Gegensatz zum HBS beim HCM 2000 mittels einer einteiligen Funktion, die durch die sog. „Transition Technic“ ermittelt wird. [HCMA00] [STVT03]

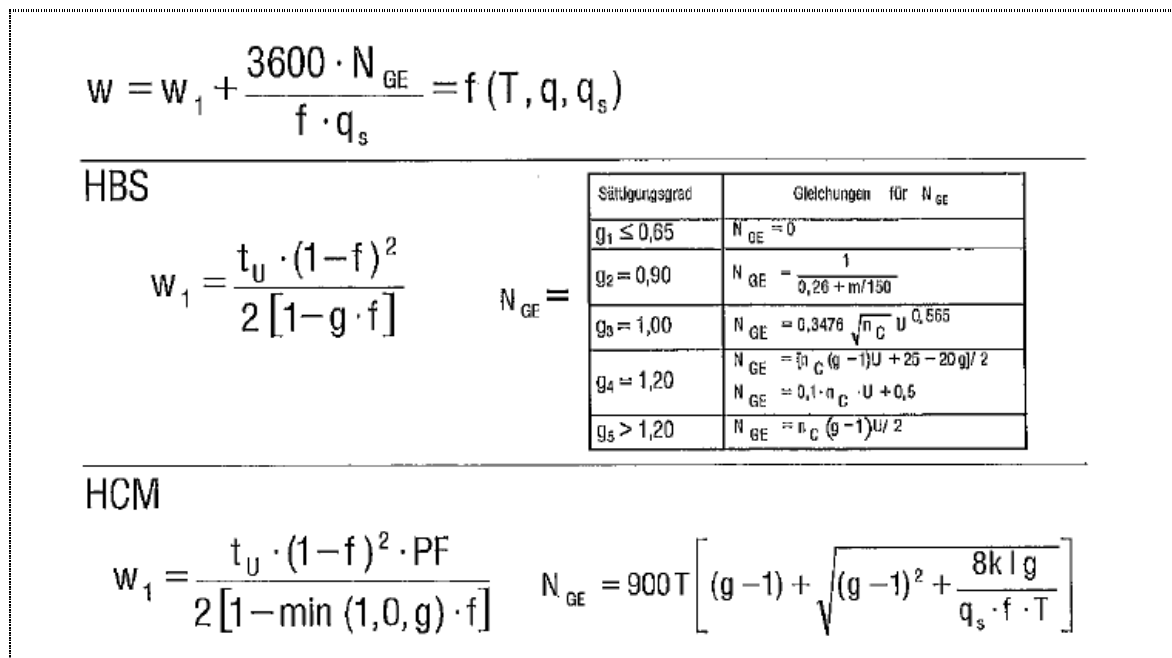


Abbildung 17: Vergleich der Wartezeitformeln nach HBS und HCM

„Die Ergebnisse beider Wartezeitformeln [aus HCM und HBS] sind durchaus miteinander vergleichbar, wenn die Ausgangsparameter gleich angesetzt sind. Im Detail betrachtet liefert die HBS-Formel geringfügig niedrigere Werte.“ [STVT03]

Die Grenzwerte der mittleren Wartezeiten für die verschiedenen Qualitätsstufen, die sich von denen des HBS stark unterscheiden, können in Tabelle 5 eingesehen werden.

LOS	Control Delay per Vehicle (s/veh)
A	≤ 10
B	> 10–20
C	> 20–35
D	> 35–55
E	> 55–80
F	> 80

Tabelle 5: Grenzwerte der mittleren Wartezeit an Knotenpunkten mit LSA nach HCM [HCMA00]

Der Unterschied in den Grenzwerten zwischen beiden Werken liegt in der Festlegung der Bemessungsintervalle. Im HCM werden Bemessungsintervalle von 15 Minuten verwendet (im Gegensatz dazu ist das Bemessungsintervall beim HBS auf 1 Stunde festgelegt). Daher können die einzelnen Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) auch nicht direkt miteinander verglichen werden. „Der Vergleich der QSV kann nur erfolgen, wenn die Wartezeiten nach HBS 2001 in Wartezeiten nach HCM 2000 transformiert

werden oder umgekehrt“ [STVT03]. Im HCM 2000 existiert dafür ein sog. Spitzenstundenfaktor (PHF), der den Unterschied zwischen der Verkehrsstärke in 15-Minuten-Intervallen und der Verkehrsstärke in 60-Minuten-Intervallen berücksichtigt. Dieser Faktor besitzt den Wert 0,88. Das Ergebnis ist in Abbildung 18 dargestellt – es ist zu erkennen, dass nach der Transformation 100 Sekunden Wartezeit nach HBS 2001 genau 100 Sekunden nach HCM 2000 entsprechend und 50 Sekunden nach HBS 2001 dagegen 70 Sekunden nach HCM 2000. „Wenn [also] eine LSA nach HCM 2000 bereits die QSV E erreicht hat, ist sie nach HBS 2001 noch bei QSV D.“ Das HBS 2001 bewertet den Verkehr demnach weniger streng als das HCM 2000. [STVT03]

Grenzwerte der mittleren Wartezeiten für die Qualitätsstufen für Kraftfahrzeugverkehr

QSV	ohne Koordinierung zulässige mittlere Wartezeit w [s]		
	Kraftfahrzeug- verkehr (HBS) (T=1 h)	Entspricht HCM für (T=0,25 h PHF=0,88)	Kraftfahrzeug- verkehr (HCM) (T=0,25 h)
A	≤ 20	→ ≤ 25	→ ≤ 10
B	≤ 35	→ ≤ 60	→ ≤ 20
C	≤ 50	→ ≤ 70	→ ≤ 35
D	≤ 70	→ ≤ 85	→ ≤ 55
E	≤ 100	→ ≤ 100	→ ≤ 80
F	> 100	→ > 100	→ > 80

Kapazität: E(HCM)=D(HBS)

Abbildung 18: Vergleich der Qualitätsstufeneinteilung von HBS und HCM nach [STVT03]

(2) Koordinierte LSA

à Kriterium: Platoon Ratio

Koordinierungen werden im HCM über einen Parameter bewertet, der als Platoon Ratio RP (Pulk-Verhältnis) bezeichnet wird.

$$R_p = \frac{P}{g_i / C}$$

mit

R_p = Platoon Ration (Pulk-Verhältnis) [%]

P = Anteil der Fahrzeuge, die sich bei der Ankunft während der Grünphase in Bewegung befinden [%]

g_i = effektive Grünzeit [s]

C = Umlaufzeit [s]

Dieser Parameter beschreibt die Verteilung der Ankünfte bzw. das Pulk-Verhalten und stellt somit eine Quantifizierung der im HCM aufgezeigten sog. Arrival Types (Ankunftstypen) dar. Die Übersicht über die verschiedenen Ankunftstypen aus [HCMA00] kann in Anlage I eingesehen werden. Platoon Ratio und das im HBS genutzte Koordinierungsmaß k stehen in folgendem Zusammenhang:

$$R_p = k \cdot \frac{t_U}{t_g}$$

mit

R_p = Platoon Ratio (Pulk-Verhältnis) [%]

k = Koordinierungsmaß [%]

t_U = Umlaufzeit [s]

t_g = Grünzeit [s]

Für die Bewertung der Koordinierung nach HCM gilt ebenfalls ein 6-stufiges Qualitätsschema (siehe Tabelle 6).

Arrival Type	Range of Platoon Ratio (R_p)	Default Value (R_p)	Progression Quality
1	≤ 0.50	0.333	Very poor
2	$> 0.50-0.85$	0.667	Unfavorable
3	$> 0.85-1.15$	1.000	Random arrivals
4	$> 1.15-1.50$	1.333	Favorable
5	$> 1.50-2.00$	1.667	Highly favorable
6	> 2.00	2.000	Exceptional

Tabelle 6: Qualitätsstufeneinteilung für Koordinierungen nach HCM [HCMA00]

(3) weitere Kriterien

➤ Kriterien: Percentile der Staulänge (95%-Staulänge)

Auch im HCM 2000 wird falls erforderlich die Bestimmung der Staulänge als Qualitätskriterium vorgeschlagen. Als eine Möglichkeit zur näherungsweisen Bestimmung der Staulänge wird hier auch auf die Percentile der Staulänge (70th-, 85th-, 90th-, 95th- and 98th-percentile back of queue) verwiesen, die die Anzahl der gestauten Fahrzeuge abhängig vom Ankunftsstrom und der Anzahl der Fahrzeuge, die während der Grünzeit nicht abfließen konnten, darstellt. [HCMA00]

$$Q_{\%} = Q \cdot f_{B\%}$$

$$f_{B\%} = p_1 + p_2 \cdot e^{\frac{-Q}{p_3}}$$

mit

- $Q_{\%}$ = Percentil der Rückstaulänge [Fz]
- Q = durchschnittliche Anzahl der Fahrzeuge in der Warteschlange [Fz]
- $f_{B\%}$ = Faktor des Percentils der Rückstaulänge [-]
- p_1 = erster Parameter des Faktors [-]
- p_2 = zweiter Parameter des Faktors [-]
- p_3 = dritter Parameter des Faktors [-]

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen

à Kriterium:

- mittlere Wartezeit
- Grenzzeitlücke (bzw. kritische Zeitlücke)

Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage werden im HCM 2000 in 3 Kategorien eingeteilt. Zum einen unterscheidet man dort die sog. Two-Way Stop-Controlled Intersections. Diese Art der Kreuzung entspricht in Deutschland einem Knotenpunkt auf einer Hauptverkehrsstraße, deren Verkehrsstrom bevorrechtigt ist. Einbiegende Nebenstraßen mit entsprechend untergeordneten Verkehrsströmen müssen halten und Vorfahrt beachten. Zum anderen gibt es die sog. All-Way Stop-Controlled Intersections – das sind Kreuzungen an denen kein Strom bevorrechtigt ist und die einzelnen Verkehrsteilnehmer nach dem Rechts-Vor-Links-Prinzip agieren. Die dritte und letzte Kategorie sind Roundabouts, die den deutschen Kreisverkehren entsprechen. [HCMA00]

(1) Two-Way Stop-Controlled Intersections (Bevorrechtigung eines Hauptstrom)

Die Bewertung der Verkehrsqualität erfolgt über die mittlere Wartezeit getrennt für jeden einzelnen ungeordneten Verkehrsstrom. Es ist zu beachten, dass die Verkehrsqualität nicht für die gesamte Kreuzung definiert ist, sondern entsprechend immer nur für einen Nebenstrom. Die Berechnung der mittleren Wartezeit erfolgt nach der bereits aus dem HBS bekannten Formel – die mittlere Wartezeit ergibt sich hierbei für jeden einzelnen untergeordneten Verkehrsstrom als Funktion aus der Kapazität der Zufahrt und dem Sättigungsgrad. [HCMA00]

$$d = \frac{3600}{c_{m,x}} + 900 \cdot T \cdot \left[\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c_{m,x}} \right) \cdot \left(\frac{v_x}{c_{m,x}} \right)}{450 \cdot T}} \right] + 5$$

mit

d = Wartezeit [s/Fz]

v_x = Verkehrsstärke [Fz/h]

$c_{m,x}$ = Kapazität [Fz/h]

T = Betrachtungszeitraum (T=0,25 für ein 15-Minuten-Intervall [h])

Näherungsweise kann die mittlere Wartezeit auch über folgende Abbildung 19 bestimmt werden:

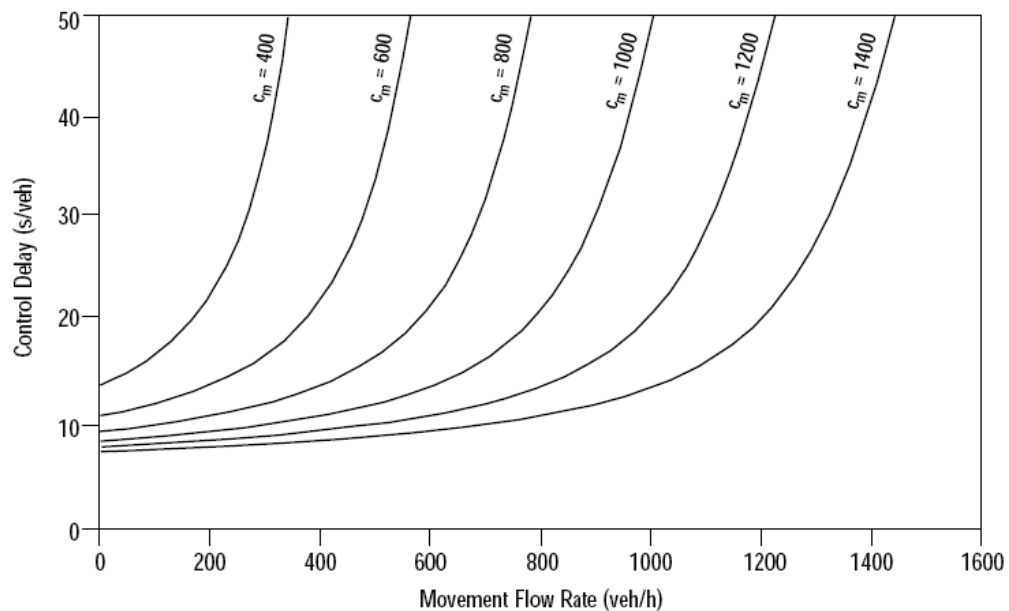


Abbildung 19: mittlere Wartezeit an Two-Way-Stop-Controlled Intersections nach HCM [HCMA00]

Die Grenzwerte der mittleren Wartezeiten sind in der Tabelle 7 aufgeführt.

Level of Service	Average Control Delay (s/veh)
A	0–10
B	> 10–15
C	> 15–25
D	> 25–35
E	> 35–50
F	> 50

Tabelle 7: Grenzwerte der mittleren Wartezeiten an Two-Way-Sto-Controlled Intersections nach HCM [HCMA00]

Es wird im HCM darauf hingewiesen, dass sich die Grenzwerte von denen der Knotenpunkte mit LSA unterscheiden. Begründet wird dies mit Hilfe des angedachten Einsatzes: „The expectation is that a signalized intersection is designed to carry higher traffic volumes and experience greater delay than an unsignalized intersection“ [HCMA00]. Es wird demnach erwartet, dass Two-Way Stop-Controlled Intersections nur bei geringen Verkehrsstärken eingesetzt werden und dementsprechend die Wartezeiten ebenso kürzer ausfallen müssten.

Neben der mittleren Wartezeit wird bei Kreuzungen mit untergeordneten Zufahrten zu einem Hauptstrom auch das Kriterium der Grenzzeitlücke eingesetzt, um die Qualität auf den ungeordneten Zufahrten zu beurteilen. Die Grenzzeitlücke stellt das minimale Zeitintervall eines Hauptstromes dar, in dem die Zufahrt für ein Fahrzeug eines ungeordneten Stromes möglich ist. Die Grenzzeitlücke bildet somit die minimal akzeptierte Zeitlücke eines Fahrers zum Befahren der Kreuzung ab – jegliche Zeitlücken, die kleiner als diese kritische Zeitlücke wären, würden demnach abgelehnt, alle die größer oder gleich dieser wären, würden angenommen werden. Die Grenzzeitlücke kann getrennt für die einzelnen untergeordneten Verkehrsströme berechnet werden [HCMA00]:

$$t_{c,x} = t_{c,base} + t_{c,HV} \cdot P_{HV} + t_{c,G} \cdot G - t_{c,T} - t_{3,LT}$$

mit

$t_{c,x}$ = kritische Zeitlücke [s]

$t_{c,base}$ = Basiszeitlücke (aus Tabelle) [s]

$t_{c,HV}$ = Angleichungsfaktor für Schwerverkehr (1,0 für zwei-streifige Hauptverkehrsstraßen und 2,0 für vier-streifige Hauptverkehrsstraßen) [s]

P_{HV} = Verhältnis des Hauptstroms zum Nebenstrom [-]

$t_{c,G}$ = Angleichungsfaktor für Anstiege [s]

G = Prozentualer Anstieg geteilt durch 100

$t_{c,T}$ = Angleichungsfaktor für jeden Teil eines 2-stufigen Zeitlücken-Akzeptanz-Prozesses (1,0 für die erste oder zweite Stufe; 0,0 wenn nur eine Stufe vorliegt) [s]

$t_{3,LT}$ = Abgleichungsfaktor für die Kreuzungsgeometrie (0,7 für links Einbiegende Fahrzeuge aus der Nebenstraße an einer dreiarmligen Kreuzung; 0,0 sonst) [s]

Für die Grenzzeitlücke existieren im [HCMA00] Richtwerte (siehe Tabelle 8), die anhand empirischer Untersuchungen auf amerikanischen Straßen aufgenommen wurden. Eine Übertragung auf deutsche Straßen ist demnach nur bedingt möglich.

Vehicle Movement	Base Critical Gap, $t_{c,base}$ (s)		Base Follow-up Time, $t_{f,base}$ (s)
	Two-Lane Major Street	Four-Lane Major Street	
Left turn from major	4.1	4.1	2.2
Right turn from minor	6.2	6.9	3.3
Through traffic on minor	6.5	6.5	4.0
Left turn from minor	7.1	7.5	3.5

Tabelle 8: Richtwerte für die Grenzzeitlücke nach HCM [HCMA00]

Zur ganzheitlichen Betrachtung von Two-Way Stop-Controlled Intersections wird empfohlen weitere Kriterien in die Betrachtung einzubeziehen, wie z.B. die mittlere Staulänge, die 95%-Staulänge oder auch das Verhältnis zwischen Verkehrsstärke und Kapazität (v/c ratio, in Deutschland Sättigungsgrad). [HCMA00]

(2) All-Way Stop-Controlled Intersections (gleichberechtigte Knotenpunktzufahrten)

Die Bewertung der Verkehrsqualität erfolgt ebenfalls anhand der mittleren Wartezeiten. Die Grenzwerte für diese Art von Kreuzungen entsprechen denen der Two-Way Stop-Controlled Intersections (siehe Tabelle 7 oben). Jede Knotenzufahrt wird einzeln und unabhängig von den anderen betrachtet. Zur Berechnung der Wartezeit wird folgende Formel angegeben [HCMA00]:

$$d = t_s + 900 \cdot T \cdot \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{h_d \cdot x}{450 \cdot T}} \right] + 5$$

mit

d = Wartezeit [s/Fz]

x = Auslastungsgrad = $v \cdot h_d / 3600$

t_s = Belegungszeit [s]

T = Betrachtungszeitraum [h]

h_d = Fahrtbeginn des Vorfahrenden [s]

(3) Roundabouts (Kreisverkehre)

Die einzelnen Zufahrten zum Kreisverkehr werden auch im HCM als T-förmige Einmündungen in einen Hauptstrom angesehen. Somit kann zumindest für einfache Kreisverkehre mit nur einem Fahrstreifen im Kreis das Bewertungsverfahren für die Two-Way Stop-Controlled Intersections übertragen werden: „The concepts described in the section dealing with TWSC intersections are generally applicable to single-lane roundabouts“ [HCMA00]. Die Grenzzeitlücke bildet hier den Basis-Parameter bei der Bewertung der Verkehrsqualität. Die Berechnung erfolgt nach der bereits dargestellten Formel (siehe oben). Der Bereich, in dem sich die kritische Zeitlücke bei Kreisverkehren bewegen sollte, wird durch eine obere Grenze von 4,1 Sekunden und eine untere Grenze von 4,6 Sekunden beschrieben (Empfehlungen des HCM). Es wird darüber hinaus darauf hingewiesen, dass das Verfahren für mehrstreifige Kreisverkehre nicht anwendbar ist, eine genauere Untersuchung jedoch noch aussteht.

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an Urban Streets (Stadtstraßen) / Hauptverkehrsstraßen (Streckenabschnitte und Streckenzüge)

➤ Kriterium:

- mittlere Reisegeschwindigkeit
- Reisezeit
- Wartezeit

Die Bewertung des Verkehrsablaufs auf innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen (für Teilabschnitte oder die gesamte Straße getrennt nach Richtung, Betrachtung des Hauptstroms, d.h. nur Durchgangsverkehr, keine Zuflüsse) erfolgt im HCM 2000 anhand der mittleren Reisegeschwindigkeit. Die Verkehrsqualität wird bei innerstädtischen Straßen zum einen durch die Anzahl der Knotenpunkte mit LSA pro Kilometer und zum anderen durch die an ihnen entstehenden Verlustzeiten beeinflusst. Die Reisegeschwindigkeit wird daher unter Berücksichtigung der Zeit, die zum Durchfahren der Strecke benötigt wird, und der Wartezeiten, die aufgrund von Behinderungen an Knotenpunkten mit LSA zustande kommen, berechnet [HCMA00]:

$$S_A = \frac{3600 \cdot L}{T_R + d}$$

mit

S_A = mittlere Reisegeschwindigkeit [km/h]

L = Länge des betrachteten Streckensegments [km]

T_R = Gesamtreisezeit für alle Segmente des betrachteten Streckenabschnitts [s]

d = Verlustzeit für Bewegungen an Knotenpunkten mit LSA [s]

Die zur Berechnung der Reisegeschwindigkeit benötigte streckenbezogene Reisezeit pro Kilometer (Segment Running Time per Kilometer) kann über die Tabelle in Anlage J ermittelt werden. Die Wartezeit wird entsprechend der Formel zur Ermittlung der mittleren Wartezeit an Knotenpunkten mit LSA bestimmt. Andere Verlustzeiten z.B. aufgrund von ÖPNV-Halten oder Haltevorgänge durch Beachtung von Fußgängerüberwegen können additiv dem Nenner in der Berechnungsformel zugefügt werden.

Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt bei der Beurteilung von innerstädtischen Straßen ist laut [HCMA00] die Erwartungshaltung der Verkehrsteilnehmer. Da sich die Erwartungen der Verkehrsteilnehmer je nach vorgefundener Straßenkategorie unterscheiden, ist eine Anpassung der Qualitätsstufeneinteilungen für jede Straßenkategorie einzeln erforderlich: „[...] the lesser the urban street (i.e., the higher its classification number), the lower the driver's expectation for that facility and the lower the speed associated with the LOS. Thus, a Class III urban street provides LOS B at a lower speed than a Class I urban street“ [HCMA00]. Es ist daher zu beachten, dass auf den unterschiedlichen Straßenkategorien unterschiedliche Ansprüche an die Qualität des Verkehrsablaufs gestellt werden. Auf Straßen, auf denen beispielsweise mit niedrigerer Geschwindigkeit gefahren werden muss, stellen niedrige Geschwindigkeiten bei ungehinderter Fahrt dennoch sehr gute Verkehrsqualitäten dar, auch wenn diese Geschwindigkeiten auf einer anderen schneller zu befahrenden Straßenkategorie als schlechte Verkehrsqualität beurteilt werden würden. Dieser Aspekt ist auch bei Umbauten von bestehenden Verkehrsanlagen zu beachten – es kann demnach eventuell trotz Erhöhung der Straßenkategorie, einer höheren durchschnittlichen Geschwindigkeit oder anderen Besserungen keine Verbesserung des LOS beobachtet werden, da auch die Erwartungen an die Anlage gestiegen sind. Die vom HCM 2000 für die verschiedenen Straßenkategorien (urban street classes) vorgegebenen Grenzwerte der mittleren Reisezeit zur Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs sind der Tabelle 9 zu entnehmen. [HCMA00]

Urban Street Class	I	II	III	IV
Range of free-flow speeds (FFS)	90 to 70 km/h	70 to 55 km/h	55 to 50 km/h	55 to 40 km/h
Typical FFS	80 km/h	65 km/h	55 km/h	45 km/h
LOS	Average Travel Speed (km/h)			
A	> 72	> 59	> 50	> 41
B	> 56–72	> 46–59	> 39–50	> 32–41
C	> 40–56	> 33–46	> 28–39	> 23–32
D	> 32–40	> 26–33	> 22–28	> 18–23
E	> 26–32	> 21–26	> 17–22	> 14–18
F	≤ 26	≤ 21	≤ 17	≤ 14

Tabelle 9: Grenzwerte der mittleren Reisezeit nach HCM [HCMA00]

Es wird darauf hingewiesen, dass das Kriterium der mittleren Reisegeschwindigkeit nicht in jedem Fall als geeignetes Qualitätskriterium angesehen werden kann: „It should be noted that if demand volume exceeds capacity at any point on the facility, the average travel speed might not be a good measure of the LOS“ [HCMA00]. Demnach weist die

mittlere Reisegeschwindigkeit im Bereich von Überlastungen eine Schwachstelle bei der Beurteilung der Verkehrsqualität auf.

Zwischenfazit

Das amerikanische HCM stellt unter den gesamten Standardwerken das umfangreichste dar und gilt als der Vorgänger sämtlicher Regelwerke, die sich mit dem Thema der Beurteilung und Bewertung von Verkehrsanlagen auseinandersetzen. Das HCM wurde nie als offizielle Richtlinien eingeführt, gilt aber als Standard für die gängige Praxis und wird regelmäßig aktualisiert und an die neuesten Erkenntnisse der Straßenverkehrstechnik angepasst. Durch seine lange Entwicklungsgeschichte (seit 1965) ist es mit der Zeit zum internationalen Standard geworden – es hat demnach eine hohe Reputation erlangt. „Das HCM 2000 wurde mit großem Aufwand in den USA kalibriert und validiert“, sodass dessen Anwendbarkeit unter Beweis gestellt werden konnte [STVT03]. Zudem deckt es sämtliche Verkehrsanlagen ab und fokussiert tatsächlich die qualitative Bewertung der Verkehrsanlagen im Sinne des Kapazitätsnachweises (im Gegensatz zur im HBS forcierten Dimensionierung). Zur Nutzung im operativen Verkehrsmanagement erscheint es daher geeignet. Nachteilig ist, dass das HCM im Vergleich zum HBS nicht so einfach zu handhaben ist.

3.3.2. Schweizer Normen (SN)

In der Schweiz existieren zur Beurteilung des Verkehrsablaufs getrennt nach den verschiedenen Verkehrsanlagen Normenwerke. Von Interesse ist in diesem Zusammenhang vor allem die Normengruppe „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit“. „Die[se] Normengruppe [...] dient der Vereinheitlichung der Verfahren, um von einem gegebenen Verkehrsangebot auf die Leistungsfähigkeit, die den Verkehrsqualitätsstufen zugeordneten Verkehrsstärken und die Belastbarkeit zu schließen (angebotsorientiertes Verfahren), oder ausgehend von den Verkehrsbelastungen die zugehörige Verkehrsanlage zu dimensionieren (nachfrageorientiertes Verfahren)“ [NORM98]. Anwender finden sich daher auch bei den Schweizer Normen im Bereich von Straßenbaubehörden, Verkehrsplanung und Politik sowie von Verkehrssteuerungs- und -lenkungszentralen.

Grundprinzip der Bewertung nach den Schweizer Normen

Die Schweizer Normen gehen bei der Bewertung ebenfalls vom 6-stufigen Qualitätsstufen-Prinzip aus (für eine detaillierte Beschreibung der Qualitätsstufen sei hier auf die Norm SN 640 017a verwiesen). Für die Bestimmung der Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität orientieren sich die Schweizer Normen wie auch das HBS an den Verkehrsstärken, die in den Spitzenverkehrsstunden anzutreffen sind. „Anstelle der Verkehrsstärke kann je nach Element [jedoch genauso] auch eine Funktion der Verkehrsstärke (z.B. Wartezeiten) zur Beurteilung gelangen.“ [NORM98]

Innerhalb der Normengruppe „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit“ gibt es neben einer Grundlagennorm (SN 640 017a) noch weitere Normen, die sich auf die einzelnen Verkehrsanlagen beziehen - in Bezug auf den Innerortverkehr sind hierbei die Normen „Hauptverkehrs- und Verbindungsstraßen innerhalb besiedelter Gebiete“ (SN 640 020) sowie „Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen“ (SN 640 023a) und „Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage“ (SN 640 022) erwähnenswert, die im Folgenden

kurz inhaltlich im Hinblick auf die Verwendung der Qualitätskriterien zur Beschreibung des Verkehrsablaufs erläutert werden sollen.

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen

➤ Kriterium: mittlere Wartezeit

Die Qualität des Verkehrsablaufs wird auch in den Schweizer Normen getrennt nach Fahrstreifen anhand der mittleren Wartezeit bewertet. Es wird darauf hingewiesen, dass es „unter bestimmten Umständen [...] zweckmäßig sein [kann], eine durchschnittliche Verkehrsqualitätsstufe für den gesamten Knoten zu bestimmen“ [NORM08]. Für diesen Fall wird die gewichtete mittlere Wartezeit über sämtliche kritische Verkehrsströme vorgeschlagen gemäß folgender Formel:

$$\overline{w_m} = \frac{\sum (w_m \cdot Q_{krit})}{\sum Q_{krit}}$$

mit

$\overline{w_m}$ = gewichtete mittlere Wartezeit [s]

w_m = mittlere Wartezeit pro Motorfahrzeug des kritischen Verkehrsstroms [s]

Q_{krit} = kritische Verkehrsstärke [Pkw/h]

$\sum Q_{krit}$ = Summe der kritischen Verkehrsstärken [Pkw/h]

Die Grenzwerte für die Qualitätsstufen wurden innerhalb der Schweizer Normen in Anlehnung an das HBS festgelegt und unterscheiden sich bzgl. der Werte der mittleren Wartezeit nicht.

Des Weiteren erfolgt die Beurteilung des Verkehrsablaufs anhand der Rückstaulänge. Für die Abschätzung des Rückstaus wird die im HBS empfohlene 95%-Rückstaulänge übernommen.

Zu beachten ist, dass die Norm nur für Fahrzeuge auf Fahrstreifen des Individualverkehrs gilt.

➤ Kriterium: Auslastungsgrad (verworfen)

Die Beurteilung des Verkehrsablaufs in Anlehnung an das HCM und HBS erfolgt in den Schweizer Normen erst seit einer Neuschreibung der Norm im Jahre 2008. Bis dahin wurden die Grenzwerte der Verkehrsqualitätsstufen auf Basis des Auslastungsgrades definiert. Die Grenzwerte des Auslastungsgrades für die Qualitätsstufeneinteilung können der Tabelle 10 entnommen werden - es ist jedoch anzumerken, dass diese in der jetzigen Norm nicht mehr enthalten sind und an dieser Stelle nur dem Aufzeigen weiterer Bewertungsmöglichkeiten dienen sollen.

Quelle		SN 640 023	HBS 2001, Kapitel 6			
Verkehrsart		Motorfahr- zeuge	Motorfahr- zeuge	Tram / Bus	Velo	Fussgänger*)
Kriterium		Auslastungs- grad x [-]	zulässige mittlere Wartezeit w [s]			
Stufe	A	≤ 0.3	≤ 20	≤ 5	≤ 15	≤ 15
	B	≤ 0.5	≤ 35	≤ 15	≤ 25	≤ 20
	C	≤ 0.7	≤ 50	≤ 25	≤ 35	≤ 25
	D	≤ 0.85	≤ 70	≤ 40	≤ 45	≤ 30
	E	≤ 1.0	≤ 100	≤ 60	≤ 60	≤ 35
	F	> 1.0	> 100	> 60	> 60	> 35

*) zuzüglich 5 s bei Überquerung mehrerer Fussgängerstreifen hintereinander

Tabelle 10: Grenzwerte des Auslastungsgrades [KORN05]

Der Grund für das Abändern der ursprünglichen Bewertungsgrundlage liegt im aus der jeweiligen Bewertungsmethode resultierenden Bewertungsergebnis. So konnte [KORN05] über einen Vergleich der Methoden nach HBS und Norm SN 640 023 nachweisen, dass „eine Bewertung nach der Norm SN 640 023 tendenziell zu einem schlechteren Ergebnis als eine Bewertung nach dem HBS 2001 [führte].“ An einem Beispielknoten wurde dafür bei einer Umlaufzeit von 90 Sekunden der Grünzeitanteil zwischen 0.1 und 0.9 variiert. In einer Darstellung des funktionalen Zusammenhangs zwischen mittlerer Wartezeit und Auslastungsgrad (siehe Abbildung 20) konnte dann gezeigt werden, dass für drei kritische Ströme des Knotens zwar die Qualitätsbewertung nach beiden Verfahren innerhalb eines bestimmten Bereiches (graue Flächen) dieselben Qualitätsstufen ergibt, jedoch unterhalb dieser Flächen die Bewertung nach HBS und oberhalb die Bewertung nach SN zu besseren Ergebnissen führt: „Bei gleichem Auslastungsgrad fallen die mittleren Wartezeiten in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung sehr unterschiedlich aus. Grundsätzlich gilt, dass ein stärkerer Verkehrsstrom bei gleichem Auslastungsgrad kürzer warten muss.“ [KORN05]

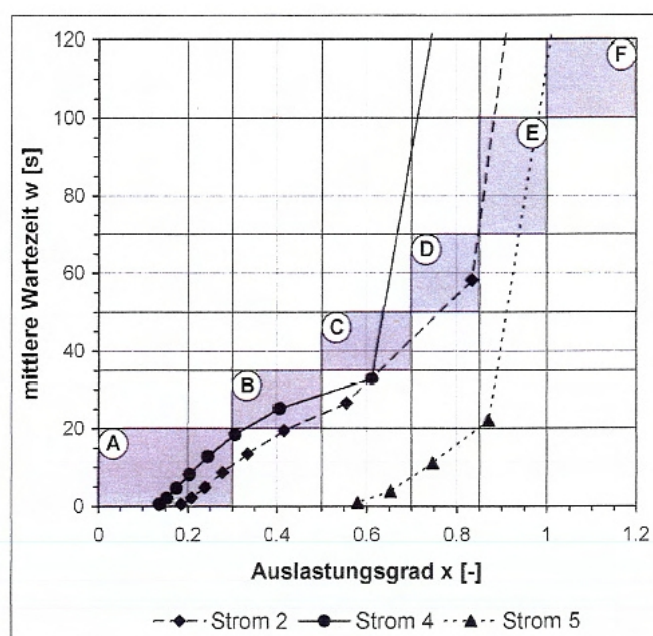


Abbildung 20: Funktionaler Zusammenhang zwischen mittlerer Wartezeit und Auslastungsgrad [KORN05]

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage

➤ Kriterium:

- mittlere Wartezeit
- Belastungsreserve

Die Beurteilung der Verkehrsqualität an Knotenpunkten ohne LSA erfolgt analog zu der im HBS vorgestellten Verfahrensweise. Auch in den Schweizer Normen wird kontrolliert, ob bei einer vorhandenen Bemessungsverkehrsstärke q_i die vorgegebene mittlere Wartezeit zur Einhaltung einer bestimmten Qualitätsstufe nicht überschritten wird. Die Beurteilung erfolgt dabei für alle untergeordneten Einzelströme und alle Mischströme (Fahrstreifen, die im Knotenbereich von mehreren Strömen benutzt werden). Zusätzlich zur mittleren Wartezeit wird ebenso wie im HBS die Kapazitätsreserve, hier als Belastungsreserve oder Reserveleistung R bezeichnet, angewandt. Diese beschreibt auch hier die Differenz der Leistungsfähigkeit und der Bemessungsverkehrsstärke (Formel siehe Abschnitt 2.1: Bewertung von Knotenpunkten ohne LSA) - „je größer die Reserveleistung R ist, desto besser wird die Qualität des Verkehrsablaufs bezeichnet“ [NORM99]. Der funktionale Zusammenhang zwischen der mittleren Wartezeit und der Reserveleistung wurde bereits im Abschnitt 2.1 (HBS, Bewertung der Verkehrsqualität an Knotenpunkten ohne LSA) beschrieben – er wird auch in den Schweizer Normen in gleicher Weise dargestellt (siehe Abschnitt 2.1: Abbildung 9 bei der Bewertung der Knotenpunkte ohne LSA).

„Bei einer Gesamtbeurteilung des Knotens bezüglich der Verkehrssituation und bei einer Bestimmung der Qualitätsstufen ist die kleinste Belastungsreserve bzw. die größte Wartezeit maßgebend“ [NORM99]. Folgendes Schema aus [NORM99] wird dabei zur groben Beurteilung vorgegeben:

- $R \geq 100$ in allen untergeordneten Strömen
 - Ausreichende Qualität des Verkehrsablaufs
 - Qualitätsstufe D oder besser
 - Wartezeit im Mittel unter 45 Sekunden
- , $0 < R < 100$ in einem untergeordneten Strom
 - Kritische Verkehrsqualität
 - Qualitätsstufe E
 - Im Normalfall längere Wartezeiten als bei Knoten mit LSA
 - Detailprüfung mit Simulationsprogramm sinnvoll

f $R < 0$ in einem untergeordneten Strom

- Leistungsfähigkeit des Knotens ist überschritten
- Qualitätsstufe F
- Unzumutbar hohe Wartezeiten und Rückstaulängen
- Die Einrichtung eines Kreisverkehrplatzes oder einer LSA sollte geprüft werden

Die Einteilung der Qualitätsstufen aufbauend auf den Grenzwerten der mittleren Wartezeiten befindet sich in Anlage K.

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an Hauptverkehrs- und Verbindungsstraßen innerhalb besiedelter Gebiete

➤ Kriterium: siehe Knotenpunkte

Die Norm SN 640 020 gilt nach eigenen Aussagen „für zweistreifige Hauptverkehrsstraßen (HVS) und zweistreifige Regional-Verbindungsstraßen außerhalb besiedelter Gebiete sowie für Hauptverkehrsstraßen innerorts, deren Ausbaustandard den üblichen Charakteristiken der beiden Straßentypen [nach den Normen SN 640 042 und 640 043] entspricht“ [NORM99]. Die Bestimmung der Verkehrsqualität von Hauptverkehrsstraßen innerhalb besiedelter Gebiete wird in der Schweizer Norm nicht dargestellt – der entsprechende Abschnitt gilt laut [NORM99] „ausschließlich für zweistreifige Hauptverkehrs- und Regional-Verbindungsstraßen außerorts.“

„Für die HVS innerorts gibt die Norm Hinweise, wie Fragen von Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität und Belastbarkeit zu behandeln sind.“ So hängt die Leistungsfähigkeit im Wesentlichen von der niedrigsten Leistungsfähigkeit an allen zu durchfahrenden Knoten ab. Es zeigt sich somit, dass von Seiten der Vereinigung Schweizerischer Straßenfachleute der Knotenpunkteinfluss auf Hauptverkehrsstraßen innerorts als so entscheidend eingestuft wird, dass eine Beurteilung der Verkehrsqualität anhand des Verkehrsablaufs an den Knoten als hinreichend genau für die davor und dahinter liegenden Streckenabschnitte angesehen werden kann. Für die Bewertung der Verkehrsqualität wird daher auch auf die Verkehrsqualitätsstufeneinteilung nach den Schweizer Knotenpunkt-Normen (SN 640 022, SN 640 023 und SN 640 024) reflektiert, d.h. es wird vorgeschlagen eine Einzelknotenbewertung vorzunehmen mit dem Hinweis, dass „über mehrere Knoten hinweg gesehen, [...] Hauptverkehrsstraßen innerorts höhere Verkehrsqualitätsstufen aufweisen [können] als einzelne Knoten für sich.“ [NORM99]

Zwischenfazit

Als beachtenswert dürfen die Schweizer Normen im Kontext der Bewertungsverfahren angesehen werden, da die Schweiz für die Bewertung der Verkehrsqualität somit als einziges Land ein rechtlich festgelegtes Normenwerk vorweist. Im Gegensatz zu den Handbüchern und Richtlinien in Deutschland und den USA ist die Anwendung und Einhaltung der enthaltenen Verfahren demnach rechtlich verbindlich. Inhaltlich erfolgt dagegen eine starke Anlehnung (zum Teil auch Übertragung) der im HBS und HCM verwendeten Verfahren.

3.4. Analyse aktueller Forschungstendenzen

3.4.1. Knotenpunkte mit LSA

Leitfaden des Hessischen Landesamtes für Straßen- und Verkehrswesen zur Qualitätssicherung an Lichtsignalanlagen

➤ Kriterien:

- Wartezeit

- Rückstaulänge
- Mehrfachhalte

Im Hessischen Leitfaden zur Qualitätssicherung an Lichtsignalanlagen [HESS03] erfolgt die Qualitätsbewertung anhand von Untersuchungen zur Identifikation von Leistungsfähigkeits- und Verkehrssicherheitsdefiziten. Für die Bewertung des Verkehrsablaufs steht dabei die Leistungsfähigkeitsbetrachtung im Vordergrund: „Leistungsfähigkeitsdefizite von Knotenpunkten manifestieren sich im wesentlichen an den für die Bewertung der Verkehrsqualität relevanten Kenngrößen: Wartezeiten, Halte und Rückstaulängen“ [HESS03]. Mittels Checklisten zur Schwachstellenidentifizierung und Maßnahmenfindung werden Schwellenwerte für diese Kenngrößen angegeben, sodass eine Einordnung der Qualität entsprechend des Handlungsbedarfes bzgl. der Verbesserung der Verkehrsqualität möglich wird. Diese Checklisten stellen Flussdiagramme dar, die die Bewertung der relevanten Kriterien vorwiegend auf qualitativer Ebene fokussieren. Mit dieser Vorgehensweise wird die Prüfung der Plausibilität z.B. von Wartezeiten oder örtlichen Randbedingungen, die je nach Lage des Knotenpunktes mit Lichtsignalanlage (außerorts oder innerorts) variieren kann, ermöglicht. Es stehen Flussdiagramme zur Beurteilung der Wartezeiten von Kfz-Strömen (siehe Abbildung 21) oder Fußgängern, des Rückstaus von Kfz-Strömen sowie der Mehrfachhalte von Fahrzeugen zur Verfügung. Weitere Erläuterungen zur Anwendung der Bewertungskriterien können dem im Internet einsehbaren Leitfaden entnommen werden.

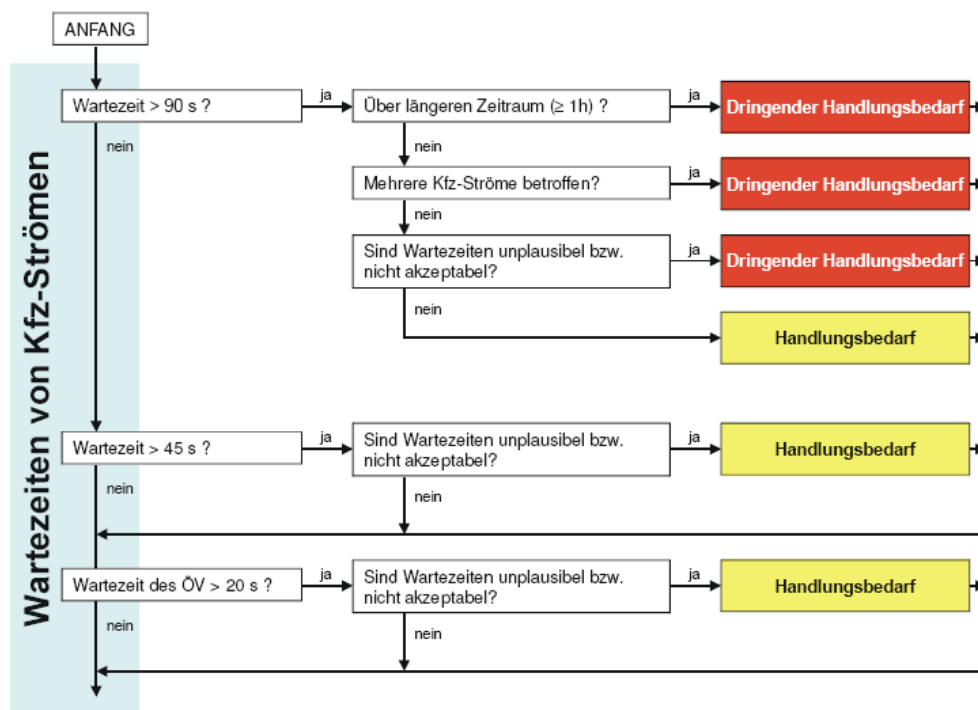


Abbildung 21: Flussdiagramm zur Bewertung der Wartezeiten von Kfz-Strömen nach dem Hessischen Leitfaden zur Qualitätssicherung an LSA [HESS03]

Verlustzeiten als Qualitätsindikator für Koordinierungen

à Kriterium: Verlustzeiten

[STVT04] stellen ein Verfahren zur Online-Bewertung der Funktionsfähigkeit Grüner Wellen zwischen zwei Lichtsignalanlagen (Koordinierungsqualität) auf Basis eines Fuzzy-Expertensystems zur Schätzung von Verlustzeiten vor LSA mittels halteliniennaher Detektoren vor. Dabei wird die Verlustzeit als Qualitätsindikator für die Koordinierung genutzt. „Die Verlustzeit eines Fahrzeugs ist die Differenz zwischen der tatsächlichen Reisezeit und der zu erwartenden Reisezeit bei idealen Bedingungen (freie Fahrt ohne LSA) für einen bestimmten Streckenabschnitt“ [STVT04]. In einem Zeitintervall kann die durchschnittliche Verlustzeit aller Fahrzeuge berechnet werden – die Formel zur Berechnung entspricht dabei der im HBS vorgestellten Formel zur Berechnung der Wartezeit. Zur Beurteilung von Koordinierungen werden im HBS Qualitätsstufen auf Basis des Indikators ‚Prozentsatz der Durchfahrten ohne Halt‘ angegeben. Für die Nutzung der Verlustzeiten als Indikator würde dem gegenüber sprechen, dass deren Informationsgehalt wesentlich höher ist: „Kommen bei geringer Verkehrsstärke alle Fahrzeuge zum Beginn der Rotzeit zum Stehen, ist die durchschnittliche Verlustzeit dieser Fahrzeuge hoch, die Anzahl der Fahrten ohne Halt ist null. Kommen die gleichen Fahrzeuge zum Ende der Rotzeit an, ist die Anzahl der Fahrten ohne Halt ebenfalls null, die durchschnittliche Verlustzeit ist jedoch deutlich geringer“ [STVT04]. Für eine Qualitätsstufeneinteilung entsprechend des HBS wird von [STVT04] jedoch kein 6-stufiges Schema vorgeschlagen, da sonst die Verlustzeit extrem genau geschätzt werden müsste – das wiederum scheint jedoch für einen einzelnen halteliniennahen Detektor zur automatischen Messung der Koordinierungsqualität unrealistisch – daher erfolgt die Definition eines 3-stufigen Qualitätsstufensystems (siehe Tabelle 11).

Qualitätsstufe	durchschnittliche Verlustzeit pro Fahrzeug $[1/F_z]$
1 - gut	$\leq 0,3 \cdot t_s$
2 - mittel	$\leq 0,7 \cdot t_s$
3 - schlecht	$> 0,7 \cdot t_s$

Tabelle 11: Qualitätsstufen der Koordinierung anhand der durchschnittlichen Verlustzeit [STVT04]

Die drei Qualitätsstufen veranschaulichen den Bereich, in dem noch keine Überlastung vorliegt. Dies ist der Fall, sofern die durchschnittliche Verlustzeit kleiner als die Rotdauer (Sperrzeit t_s) ist. Sobald die durchschnittliche Verlustzeit gleich oder größer der Rotdauer ist, wird von einer Überlastung ausgegangen und die Verkehrsqualität automatisch als schlecht eingestuft. Eine Ausgabe der Qualität ist für jeden Umlauf erneut möglich – um jedoch extreme Schwankungen zu vermeiden, wird der Mittelwert der geschätzten Verlustzeiten der vergangenen 15 Minuten zur Bestimmung der Qualitätsstufe verwendet. [STVT04]

Zwischenfazit

Der Leitfaden des Hessischen Landesamtes zur Qualitätssicherung an Lichtsignalanlagen besitzt bereits einen sehr starken Richtliniencharakter. Auch wenn es sich nur um einen Leitfaden handelt, so wird dieser doch zumindest in Hessen als Grundlage genutzt und besitzt dementsprechend eine gewisse Reputation. Der Leitfaden erscheint jedoch

stärker als Informationsquelle für den Verkehrsplaner im Hinblick auf die Schwachstellenanalyse und Maßnahmenfindung, als für die Online-Qualitätsbewertung im Sinne der Informierung der Verkehrsteilnehmer. Eine Nutzung im operativen Verkehrsmanagement ist dennoch gegeben.

Das Verfahren von Braun und Mück [STVT04] zur Bewertung von Koordinierungen mittels Verlustzeiten stellt dagegen zunächst nur ein Konzept dar, jedoch mit großem Potential. Der große Vorteil, den das Verfahren bietet, ist die Möglichkeit einer Online-Bewertung des Verkehrszustandes, d.h. einer Beurteilung der aktuell vorliegenden Verkehrssituation mittels der vorhandenen Detektionsinfrastruktur (Zeitlückendetektoren existieren nahezu an allen verkehrsabhängigen Signalsteuerungen in Deutschland). Zudem bietet es im Hinblick auf eine Nutzung als Informationsquelle für den Verkehrsteilnehmer durch Reduktion auf ein 3-Stufen-Schema eine leicht verständliche Beurteilung der vorliegenden Qualität.

3.4.2. Knotenpunkte ohne LSA

Verfahren nach Brilon und Miltner

➤ Kriterium: Konfliktfaktor

Die Verkehrsqualität an durch Beschilderung vorfahrtgeregelten Kreuzungen und Einmündungen wird neben dem Kfz-Verkehr vor allem im innerörtlichen Straßennetz auch durch Fußgänger und Radfahrer beeinflusst. Gängige Verfahren berücksichtigen diesen Aspekt jedoch kaum. So fließen Radfahrer im HBS nur ein, wenn diese die Fahrbahn gemeinsam mit dem Kfz-Verkehr nutzen; Fußgänger werden gar nicht berücksichtigt: „In Deutschland wurde die im HBS 2001 standardisierte Rechenmethode an außerorts gelegenen Knotenpunkten geeicht, an denen kein nennenswerter Verkehr von Fußgängern und Radfahrern auftrat“ [STVT05]. In diesem Zusammenhang wurde von Brilon und Miltner [STVT05] ein Verfahren zur Einschätzung der Verkehrsqualität an vorfahrtgeregelten Innerorts-Knotenpunkten unter Berücksichtigung aller Arten von Verkehrsteilnehmern konzipiert.

Der Grundgedanke dieses Verfahrens ist die sog. Konflikttheorie - über eine aufzustellende Konfliktmatrix werden sämtliche Vorfahrtsverhältnisse der vorhandenen Verkehrsströme an einem Knotenpunkt ohne LSA erfasst. Die Konfliktmatrix ist so aufgebaut, dass in den Zeilen der Konkurrenzstrom i und in den Spalten der betrachtete Strom j dargestellt werden. Folgende Interpunktion dient der Beschreibung von Kreuzungs- oder Berührungspunkten der Bewegungslinien zweier Verkehrsströme in der Konfliktmatrix (Zellenwert = A_{ij}):

$A_{ij} = 1$: Konkurrenzstrom i hat Vorfahrt vor dem betrachteten Strom j

$A_{ij} = 0$: Konkurrenzstrom i hat keine Vorfahrt vor dem betrachteten Strom j

oder umgekehrt:

$A_{ji} = 0$: der betrachtete Strom j hat keine Vorfahrt vor dem Konkurrenzstrom i

$A_{ji} = 1$: der betrachtete Strom j hat Vorfahrt vor dem Konkurrenzstrom i

Auf diese Weise lassen sich nicht nur die Kfz-Ströme einbinden, sondern auch Fußgänger- und Radfahrströme.

Mit Hilfe von Warteschlangenmodellen werden dann anhand dessen Kapazitäten und Wartezeiten ermittelt. „Die Überlegung, die hinter diesen Modellen steht, ist, dass der gemeinsam beanspruchte Platz (nämlich die Fläche eines Knotenpunktes) nur dann für einen bestimmten Verkehrsstrom zur Verfügung steht, wenn er nicht bereits von anderen, um den Platz konkurrierenden Verkehrsteilnehmern, benutzt wird“ [STVT05]. Denn je geringer die Nutzung der gemeinsamen Konfliktfläche durch konkurrierende Verkehrsteilnehmer ist, desto öfter steht diese einem betrachteten Verkehrsstrom zur Verfügung und desto größer ist dementsprechend dessen Kapazität. Für die statistische Berechnung der Kapazität eines Stromes wird von [STVT05] folgende Formel vorgeschlagen:

$$C_j = C_{\max,j} \cdot p_0$$

$$C_j = \frac{3600}{t_{s,j}} \cdot \left[\prod_k \left(-\frac{1}{3600} \cdot \sum_{i \in D_k} (A_{i,j} \cdot q_i \cdot t_{s,i}) \right) \right] \cdot e^{-\frac{1}{3600} \sum_{i=1}^{12} (A_{i,j} \cdot q_i \cdot t_{a,i})}$$

mit

- C_j = Kapazität des Verkehrsstroms j [Fz/h]
- k = Index für Konfliktgruppe [-]
- i = Index für Verkehrsstrom [-]
- D_k = Menge der Ströme in Konfliktgruppe k [-]
- q_i = Verkehrsstärke in Strom i [Fz/h]
- $t_{s,i}$ = Zeitbedarfswert für Fahrzeuge, die sich auf der Konfliktfläche befinden oder in einer Schlange davor warten [s/Fz]
- $t_{a,i}$ = Zeitbedarfswert für Fahrzeuge, die sich der Konfliktfläche nähern [s/Fz]
- $A_{i,j}$ = Konfliktfaktor zur Berücksichtigung der Vorfahrtsregelung [-]

Der in die Gleichung eingebundene Konfliktfaktor A_{ij} ermöglicht die Berücksichtigung der Vorfahrtsregelung. Als Konfliktfaktoren gehen die Zellenwerte der Konfliktmatrix in das Rechenverfahren ein – „damit werden die Vorfahrtsregeln quasi automatisch beachtet.“ Darauf aufbauend können anschließend die Formeln zur Ermittlung der mittleren Wartezeit nach HBS unter Einbindung der so berechneten Kapazitäten angewandt werden.

Vorteil dieses Verfahrens ist, dass es „gleichermaßen für Kreuzungen und Einmündungen angewendet werden [kann]. [...] Einzelne Terme im Berechnungsverfahren fallen automatisch heraus, da die Verkehrsstärken der im Gegensatz zu einer Kreuzung fehlenden Ströme gleich Null sind.“ [STVT05]

Für eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens sei an dieser Stelle auf den Bericht in [STVT05] verwiesen.

Zwischenfazit

Im Sinne der Qualitätsbewertungsverfahren stellt das vorgestellte Verfahren von Brilon und Miltner kein eigenständiges, neues Verfahren dar, sondern baut vielmehr auf der bestehenden Bewertung mittels Wartezeiten auf. Es ist damit in einer Linie mit den Standardwerken, wie HBS und HCM, einzuordnen. Durch die Nutzung des Konfliktfaktors erhöht sich die Genauigkeit bei der Berechnung der tatsächlich vorliegenden Kapazitäten und somit rückwirkend auch bei der Bestimmung der vorhandenen Verkehrsqualität der bestehenden Anlage. Vorteil dieser Erweiterung ist die Möglichkeit der Berücksichtigung weiterer Verkehrsteilnehmer, deren Einfluss bisher nicht beachtet wurde.

3.4.3. Hauptverkehrsstraßen (Straßenabschnitte)

Wie bereits dargelegt wurde, fehlen im HBS Verfahren zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen. Um diese Lücke zu schließen, wurden von Forschungsseite bereits Vorschläge angebracht, deren Verwendung im Standardwerk jedoch derzeit noch geprüft wird. Zwei dieser Vorschläge sollen hier kurz erläutert werden.

Verfahren nach Baier et al.

à Kriterium: Grad der Überlagerung durch örtliche Erschließungsfunktionen

Von Baier et al. [BAST03] wurde zur Beschreibung und Bewertung des Kfz-Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen ein Qualitätsstufenkonzept vorgelegt, bei dem jedoch nur die Straßenabschnitte außerhalb des Einflusses von Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen berücksichtigt werden. Bei diesem Verfahren wird der Grad der Überlagerung durch örtliche Erschließungsfunktionen über Einflüsse von Störungen auf die Verkehrsdichte und –stärke als Qualitätskriterium für die Beurteilung des Verkehrsablaufs angesetzt. Das Verfahren ermöglicht so für fünf relevante, zwei- und vierstreifige Fahrbahnquerschnitte die Beurteilung der Verkehrsqualität in Abhängigkeit von der Kfz-Verkehrsstärke sowie unterschiedlicher Ausprägungen von Störeinflüssen aus der Erschließungsfunktion – solche Störeinflüsse können sein:

- Linksabbieger an Knotenpunkten mit nachrangigen Straßen,
- Ein- und Ausparkvorgänge,
- Liefer- und Ladevorgänge,
- Bushalte auf der Fahrbahn,
- Anforderungen von signalisierten Fußgängerfurten.

Für die konkrete Vorgehensweise sei hier auf die detaillierte Beschreibung in [SCHM09] verwiesen – eine kurze Übersicht über die verwendeten Formeln kann jedoch in der Anlage L eingesehen werden.

Differenzierte Bewertung des Verkehrsablaufs im Bereich von Überlastungen nach Brilon und Estel

Ein Bereich, der innerhalb der Qualitätsbewertung von Hauptverkehrsstraßen bisher nur wenig Beachtung fand, ist die Beurteilung der Verkehrssituation im Bereich von

Überlastungen. Dieser Bereich nimmt jedoch bei steigenden Verkehrsstärken vor allem im Zusammenhang mit der Betrachtung innerstädtischer Straßennetze an Bedeutung zu. Brilon und Estel [FSST08] haben dazu eine Arbeit vorgelegt, die sich diesbezüglich einer Differenzierung der im HBS zur Beschreibung von Überlastungen vorgestellten Qualitätsstufe F annimmt und Vorschläge zur Entwicklung standardisierter Bewertungsverfahren zur Beschreibung der Qualität auf überlasteten Verkehrsanlagen vorbringt. Die dort ausgewählten Konzepte basieren auf [FSST08]:

- Nutzung der Verfahren für fließenden Verkehr
 - à Kriterien:
 - entsprechend HBS für die jeweiligen Verkehrsanlagen
- Bewertung anhand der Zusammenbruchswahrscheinlichkeit
 - à Kriterium:
 - Wahrscheinlichkeit mit der es zu einer Überlastung kommt (Nutzung einer Weibull-Verteilung)
- Bewertung anhand der Ganztagesbewertung
 - à Kriterien:
 - Verlustzeiten, Staudauer über den gesamten Tag
- Bewertung anhand des Reisezeitindex
 - à Kriterium:
 - Reisezeit bzw. Reisezeitindex als Verhältnis aus der mittleren Reisezeit (Wartezeit an Knotenpunkten) und der akzeptablen Reisezeit.

Zwischenfazit

Das Verfahren von Baier et al. ist ein Vorschlag zur Qualitätsbewertung, der bereits seit einigen Jahren existiert und dessen Verwendung für die Neuschreibung des HBS, insbesondere im Hinblick auf die Schließung der Lücke bzgl. eines Verfahrens zur Bewertung der Verkehrsqualität auf Hauptverkehrsstraßen, derzeit ebenfalls zur Debatte steht. In [SCHM09] konnte dessen Verwendbarkeit im Zusammenhang mit dem Qualitätskriterium Reisezeit aufgezeigt werden. Die Darstellung und Einbeziehung der Störgrößen auf den Verkehrsablauf ist zwar insbesondere im innerstädtischen Hauptverkehrsstraßennetz von Vorteil, von einer praktischen Nutzbarkeit muss jedoch aufgrund der schwer und aufwendig zu ermittelnden notwendigen Kenngrößen abgesehen werden.

Der Bewertungsvorschlag von Brilon und Estel ist dagegen ein sehr neuer und somit noch wenig mit belastbaren Anwendungsfällen hinterlegter Ansatz. Durch die Wahl von vier Konzepten, die aus der Befragung von Experten aus Wissenschaft und Praxis resultieren und weitestgehend die bisherigen Ansätze aus den vorliegenden Standardwerken aufgreifen, stellt der Vorschlag gewissermaßen eine Erweiterung dar. Von Interesse könnte der Ansatz dennoch sein. Vor allem im Hinblick auf die Bewertung innerstädtischer Hauptverkehrsstraßenabschnitte, die oftmals in Zeiten der Rush Hour mit Überlastungen zu kämpfen haben, erscheint eine differenzierte Qualitätsbewertung angebracht. Von Vorteil wird bei Brilon und Estel auch die Vorstellung mehrerer

Verfahren gesehen – so sind zwar die verschiedenen Verfahren weitestgehend auf alle Verkehrsanlagen anwendbar, unterscheiden sich jedoch untereinander deutlich in Aussagekraft, Datenbedarf und Aufwand, sodass nicht ein Verfahren als besonders geeignet für alle Verkehrsanlagen erscheint, sondern je nach Eignung ein anderes Konzept gewählt werden kann. [FSST08].

3.4.4. Hauptverkehrsstraßen (Streckenzüge)

Die bisherigen Bewertungsverfahren im HBS beziehen sich ausschließlich auf die Bewertung der Verkehrsqualität an einzelnen, homogenen Verkehrsanlagen. Gerade in innerstädtischen Bereichen werden jedoch teilweise in kurzen Abständen Hauptverkehrsstraßen durch andere gleichrangige Hauptverkehrsstraßen gekreuzt oder durch Knotenpunkte, die einen erheblichen Einfluss auf den Verkehrsablauf der davor oder dahinter liegenden Streckenabschnitte haben, unterbrochen. Eine übergreifende Bewertung von Straßenzügen, die aus Streckenabschnitten und Knotenpunkten bestehen, ist mit den derzeitigen Bewertungsverfahren des HBS jedoch nicht möglich, für Verkehrsmanagementzentralen aber dennoch von großem Interesse.

Verfahren nach Brilon und Schnabel

➤ Kriterium: Reisezeit, Reisegeschwindigkeit

Ein Vorschlag zur übergreifenden Bewertung von Straßenzügen unter Nutzung der Verknüpfung mit Netzbetrachtungen (jedoch ohne Differenzierung von Knotenpunkten und Streckenabschnitten) kommt von Brilon und Schnabel [STVT03]. Dabei beschreibt „die für Pkw über eine längere Strecke, z.B. 2 bis 5 Kilometer, im Mittel erreichbare Reisezeit am ehesten die von der Hauptverkehrsstraße angebotene Qualität des Verkehrsablaufs.“ Als Maß der Qualität wird jedoch meist nicht die Reisezeit, sondern ihr Reziprokwert pro Streckenlänge, d.h. die mittlere Reisegeschwindigkeit, angegeben. Eine kurze Übersicht mit den wichtigsten Berechnungsformeln sowie der Qualitätsstufeneinteilung kann der Anlage M entnommen werden.

Verfahren nach Spangler

➤ Kriterium: Reisezeit, Reisegeschwindigkeit, Pufferzeitindex

Ebenfalls einen Vorschlag zur übergreifenden Bewertung längerer Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen über mehrere Knotenpunkte hinweg, legte Spangler [SPAN07] im Jahr 2007 im Auftrag der BMW AG München vor. Dieser speziell an die Anforderungen der Roten Routen in München (Hauptverkehrsstraßennetz) angepasste Ansatz beruht ebenfalls auf den Bemessungskenngrößen Reisezeit respektive Reisegeschwindigkeit. Neu ist in seinem Ansatz der sog. Pufferzeitindex, der als Kenngröße zur Beschreibung der Gewährleistung der ausreichenden Verbindungssicherheit bzw. Zuverlässigkeit und der damit verbundenen Prognostizierbarkeit dient und die Zielerreichung innerhalb einer gewünschten Zeit mit einer statistischen Sicherheit widerspiegelt. Über diesen Index können zufällige Störungen im Verkehrsablauf wie z.B. verkehrsnachfragebedingte Halte, aber auch wiederkehrende und prognostizierbare Zeitverluste (beispielsweise Wartezeiten an LSA) berücksichtigt werden. Da die Ermittlung der dafür notwendigen Reisezeitdaten jedoch sehr aufwändig ist, schlägt [SPAN07] alternativ die Verwendung des Auslastungsgrades als Qualitätsindikator für die Zuverlässigkeit vor. Spangler gibt für die genannten Qualitätskriterien 6-stufige Qualitätsstufeneinteilungen in Anlehnung an das HBS an.

Diese Einteilungen sowie wesentliche Bestimmungsformeln der genannten Indikatoren können der Anlage N entnommen werden. Um die Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit des Ansatzes für die Verkehrsteilnehmer zu erhöhen, gibt Spangler zudem eine auf drei Stufen reduzierte Variante dieser Einteilung heraus. Die 3-stufige Einteilung beruht dabei einerseits auf den Reisegeschwindigkeiten, da diese für den Verkehrsteilnehmer laut Spangler leichter verständlich sind und andererseits auf dem Reisezeitindex, der den Faktor der Verlängerung der Reisezeit widerspiegelt und von Spangler daher insbesondere für Echtzeitanwendungen (Verwendung der aktuell gemessenen Reisezeit zur Berechnung) vorgeschlagen wird (siehe Tabelle 12).

QSV	Mittlere Reisegeschwindigkeit der Pkw [km/h]
Frei	≥ 40
Stockend	≥ 15
Stau	< 15

QSV	Reisezeitindex [-]
Frei	$\leq 0,5$
Stockend	$\leq 1,5$
Stau	$> 1,5$

Tabelle 12: 3-Stufen-QSV mit Reisegeschwindigkeit und Reisezeitindex für Verkehrsteilnehmer nach [SPAN07]

Zwischenfazit

An dieser Stelle sei auf die ebenfalls vom Autor verfasste Projektarbeit zum Thema „Ermittlung und Bewertung von Verfahren zur Ableitung von Level-of-Service aus Streckenreisezeiten“ [SCHM09] verwiesen. In dieser Arbeit wurden drei ausgewählte alternative Verfahren zur Bestimmung der Qualität des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen detailliert beschrieben und einander gegenübergestellt. Zu den dort vorgestellten Ansätzen gehören die oben genannten Verfahren von [STVT03] und [SPAN07] sowie der Ansatz nach [BAST03], der bereits bei den Verfahren zur Bestimmung der Verkehrsqualität an Hauptverkehrsstraßenabschnitten vorgestellt wurde. Vorteile der Verfahren von Brilon und Schnabel sowie Spangler liegen demnach vor allem beim geringen erforderlichen Datenumfang, der zudem relativ einfach aus Messungen oder Simulationen bestimmt werden kann, und in dem Aspekt, dass in der Reisezeit Zeitverluste (z.B. Wartezeiten an LSA, verkehrsnachfragebedingte Halte) bereits zusammengefasst enthalten sind und somit eine Betrachtung der Verkehrsqualität über längere Streckenabschnitte hinweg möglich ist. Zudem ist die Reisezeit eine für den Anwender gut nachvollziehbare und direkt kommunizierbare Größe (insbesondere Spangler berücksichtigt dies). Nachteilig ist hingegen die fehlende Einbeziehung von Störeinflüssen aus Erschließungsfunktionen, die vor allem im innerstädtischen Bereich durchaus Relevanz besitzen. Bei beiden Verfahren wurde die Praxistauglichkeit bereits

bewiesen. Zudem stellen sie die Umsetzung der im fehlenden HBS Kapitel zur Bewertung von Hauptverkehrsstraßen vorgeschlagenen Herangehensweisen dar. Sie können somit durchaus als Erweiterung des HBS, zumindest aber als Aufrechterhaltung der im HBS vollzogenen Vorgehensweise angesehen werden.

3.5. Verfahren in der Praxis

Von der Bundesanstalt für Straßenwesen existiert in diesem Zusammenhang das sog. Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ) [MARZ99]. Das MARZ wird beispielsweise von Verkehrslageinformationsdiensten im Internet als Grundlage für die dortigen Informationen der Verkehrslage angewandt. Basis hierfür ist ebenfalls eine Einteilung in Verkehrslagestufen ähnlich zu den Verfahren in HBS und HCM mit der mittleren Kfz-Geschwindigkeit und der lokalen Verkehrsdichte als primären Einstufungskriterien. Die Einstufung erfolgt hier jedoch nur in die vier Verkehrsstufen „Stau“, „zähfließend“, „dicht“ und „frei“. Eine schematische Darstellung ist in Abbildung 22 dargestellt – es ist zu beachten, dass es sich hierbei um Grenzwerte der Grundversorgung von Autobahnabschnitten handelt. [MARZ99]

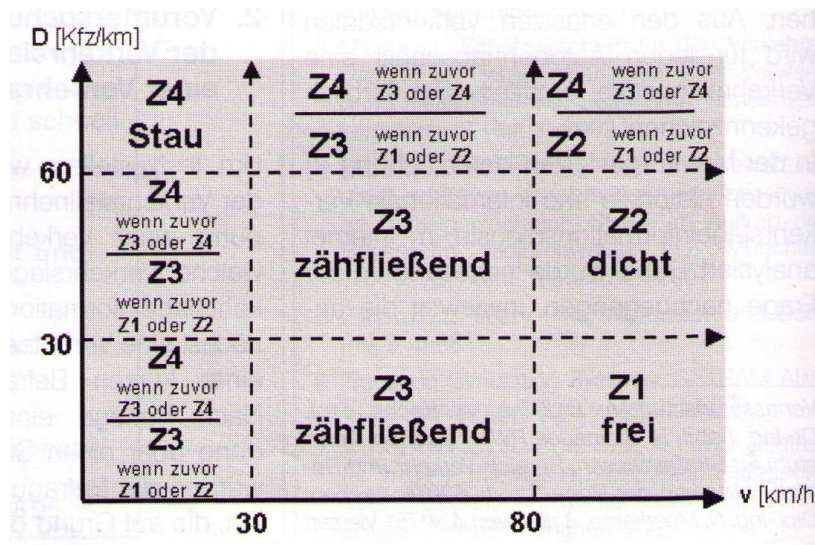


Abbildung 22: Schema der Grenzwerte der Verkehrsstufeneinteilung nach [STVT04]

Im Unterschied zum MARZ sind die Grenzwerte für Dichte und Geschwindigkeit bei HBS und HCM verhältnismäßig niedrig: „Im MARZ wird der Staubereich unter einer Geschwindigkeit von 30 km/h definiert; ab Geschwindigkeiten über 80 km/h gilt der Verkehr nur bei einer sehr hohen Dichte als gestaut. Im HBS dagegen wird für die Bemessung in der 30. Stunde ein Verkehrszusammenbruch bei 80 km/h angesetzt“ [STVT04]. Kochs, Steinauer und Meerkamp [STVT04] führten in diesem Zusammenhang eine Befragung von Verkehrsteilnehmern durch – Ergebnis war, dass die Verkehrsteilnehmer bei der Beschreibung der Verkehrslage ähnliche Parameter wie die Verkehrsingenieure nutzen. Hierbei werden vor allem Geschwindigkeit und Verkehrsdichte, aber auch die Reisezeit bevorzugt. „Eine Einteilung in drei, maximal vier Verkehrslagestufen, scheint vom Verkehrsteilnehmer am ehesten verstanden und angenommen zu werden.“ Die Unterscheidung zwischen den Begriffen „dicht“ und „zähfließend“ wurde jedoch bei der Befragung als problematisch eingestuft, weitere Unterteilungen wurden darüber hinaus nicht verstanden.

Das Verfahren von [STVT04] stellt diesbezüglich unter den theoretischen Ansätzen eine gute Möglichkeit im Hinblick auf die Beurteilung koordinierter Signalgruppen dar. Auch das Verfahren von Spangler, das explizit für die Verwendung beim Verkehrsteilnehmer eine vereinfachte Form der Qualitätsstufeneinteilung bietet, erscheint danach sinnvoll. Hingegen wirken die vorhandenen Standardwerke diesbezüglich wenig geeignet. Die Komplexität und der Aufwand bei der Bestimmung der verschiedenen Kenngrößen sowie die fehlende Verknüpfung der Bewertungen der einzelnen Verkehrsanlagen stellen ein Manko dar, das in der Praxis dazu führt, dass die Bewertung der Verkehrsqualität oftmals nicht nach den Standardwerken erfolgt.

Eine Befragung verschiedener Einrichtungen des Verkehrsmanagements (Verkehrsmanagementzentralen, behördliche Einrichtungen des Verkehrsmanagements) konnte diese Annahme bestätigen. Dafür wurden exemplarisch ausgewählte Verkehrsmanagementeinrichtungen kontaktiert und mittels eines Fragebogens über die Durchführung der Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an den jeweiligen Standorten befragt (Fragebogenvorlage siehe Anlage O). Die Auswahl der Verkehrsmanagementeinrichtungen erfolgte dabei im Hinblick auf die Betrachtung städtischer Netze - insbesondere Berlin (sowohl Verkehrsmanagementzentrale als auch die Verkehrslenkung) und Potsdam wurden aufgrund der räumlichen Nähe zum Praxispartner DLR einbezogen. Ziel der Befragung war es, herauszufinden, wie die Bewertung der Verkehrsqualität in der Praxis vor allem im operativen Bereich wirklich durchgeführt wird, d.h. ob tatsächlich vorhandene Standardwerke genutzt werden, ob es eigene Ansätze in der Praxis gibt oder auch ob eventuell ein Trend erkennbar ist in Bezug auf die Nutzung bestimmter Indikatoren zur Beschreibung des Verkehrsablaufs. Die im Rücklauf erhaltenen, ausgefüllten Fragebögen können ebenfalls in Anlage P eingesehen werden.

Als klares Ergebnis aus der Befragung zeigte sich, dass zwar eine gewisse Anlehnung an die vorhandenen Standardwerke (insbesondere HBS und Fundamentaldiagramm) zu erkennen ist und auch explizit von den Einrichtungen benannt wird, jedoch die Bewertung im Endeffekt in allen Fällen nach eigenen, selbst erzeugten Bewertungs-Schemata erfolgt. Insgesamt werden aus den Standardwerken die Qualitätsindikatoren sowie das generelle Prinzip der Qualitätsstufeneinteilung übernommen. Bei den LOS-Einteilungen erfolgt jedoch im Hinblick auf die Anzahl der Stufen oftmals eine Reduktion auf 3 bis 4 Stufen (selten und dann eher zu Forschungszwecken in 5 und 6 Stufen). Die Festlegung der Grenzwerte der jeweiligen Stufen wird hingegen bei allen Einrichtungen auf Basis eigener Erfahrungswerte durchgeführt.

Folgende Qualitätskriterien werden bei der Bewertung des Verkehrsablaufs in der Praxis verwendet:

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| • Reisegeschwindigkeit | • Verkehrsdichte |
| • Auslastungsgrad | • Mittlere Rückstaulängen |
| • Verlustzeiten | • Wartezeiten |
| • Anzahl der Fahrzeuge | • Luftschadstoff- und |
| • Anzahl der Halte | Lärmbelastung |
| • Fahrzeuggeschwindigkeit | • Unfalldaten |
| • Verkehrsstärke | |

3.6. Zusammenfassung

Die Bewertung der Verkehrslage ist für viele Bereiche des Verkehrsmanagements von großer Bedeutung. Die vorgestellten Verfahren finden zumeist Anwendung im planerischen und strategischen Kontext des Verkehrsmanagements. Sie fokussieren im Wesentlichen die qualitative Bewertung vorhandener oder geplanter Verkehrsanlagen im Hinblick auf die Verbesserung der Verkehrsqualität mittels planerischer oder strategischer Maßnahmen oder die Bemessung zukünftiger Anlagen und dienen entsprechend vorrangig den Straßenbaubehörden, Verkehrsplanern und -politikern sowie zu strategischen und prognostischen Zwecken im begrenzten Maße auch den Verkehrsmanagement- und -leitzentralen. Grund dafür ist die Bewertung der Verkehrsqualität als eine zu erwartende Qualität, die sich auf Prognosen und vergangene Datenerhebungen stützt. Auch eine Qualität, wie sie zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Vergangenheit vorgelegen hat und entsprechend darstellt, ob die vorhandenen Kapazitäten ausgereicht haben oder nicht, kann darüber ermittelt werden. Das operative Verkehrsmanagement erfordert dagegen die Bewertung aktuell vorliegender Verkehrsqualitäten (Online-Bewertung), sodass die Verkehrssteuerung und -lenkung operativ angepasst und der Verkehrsteilnehmer entsprechend über die tatsächlich vorliegende Verkehrssituation zum Zeitpunkt der Nutzung der Verkehrsanlage informiert werden kann. Über die Befragung der Verkehrsmanagements-einrichtung konnten die in der Praxis tatsächlich verwendeten Qualitätskriterien herausgefiltert werden. Es zeigte sich, dass die in den Standardwerken zur Anwendung kommenden Parameter durchaus in die Praxis übernommen werden und dementsprechend eine Eignung im Sinne des operativen Verkehrsmanagements angenommen werden kann.

In Anlage Q sind nochmals sämtliche Qualitätskriterien zusammengefasst, die anhand der in diesem Kapitel durchgeführten Analyse der vorhandenen Werke zum Thema der Qualitätsbewertung gewonnen wurden. Darüber hinaus enthält diese Tabelle zusätzliche Kenngrößen, die in den Verfahren nicht zur Anwendung kommen, jedoch generell zur Beschreibung des Verkehrsablaufs genutzt werden. Es werden die Vor- und Nachteile der jeweiligen Kriterien hinsichtlich ihrer Eignung für das operative Verkehrsmanagement und der dort vollzogenen qualitativen Bewertung des Verkehrsablaufs dargelegt. Es ist anzumerken, dass es sich hierbei vorrangig um Qualitätskriterien handelt, die zur Beschreibung des innerstädtischen Verkehrs herangezogen werden. Weitere Kriterien, die bei der Beurteilung von Autobahnen und Landstraßen genutzt werden, sind für die Beschreibung des innerstädtischen Verkehrs durchaus denkbar, sollen jedoch in diesem Rahmen außer Acht gelassen werden.

4. Rahmenbedingungen bei der Bewertung der Verkehrsqualität

4.1. *Einordnung der Rahmenbedingungen in den Kontext der Qualitätsbewertung*

Die gängigen Bewertungsverfahren zur Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs haben sich in der Vergangenheit als geeignet erwiesen für die näherungsweise Beschreibung des Verkehrsablaufs an den jeweiligen Straßenverkehrsanlagen. Sie betonen vor allem den Grad der gegenseitigen Behinderung der Verkehrsteilnehmer und somit das Erreichen von Kapazitätsengpässen als Hauptursache für Störungen innerhalb des Verkehrsablaufs. Darüber hinaus gibt es jedoch noch weitere Einflussfaktoren, die zu Verlusten innerhalb der Reisezeit oder zu geringen Reisegeschwindigkeiten führen und somit ebenfalls als Auslöser für verminderte Verkehrsqualitäten angesehen werden können. In Kapitel 2 wurden bereits die verschiedenartigen Randbedingungen klassifiziert. Im folgenden Kapitel sollen diese Randbedingungen nun näher betrachtet werden. Es soll in diesem Zusammenhang auch der Frage nachgegangen werden, inwiefern diese Faktoren tatsächlich Einfluss auf das Verkehrsgeschehen haben, sodass eine Aussage darüber getroffen werden kann, ob sich ein Einbezug dieser Faktoren in die Qualitätsbetrachtung lohnen würde. Ein weiterer Fokus soll darüber hinaus auf die Erfassbarkeit der Einflussfaktoren gelegt werden, da insbesondere die automatische Erfassung der Einflüsse von großer Bedeutung für die Einbeziehung in das automatisierte operative Verkehrsmanagement ist. Aus diesem Grund sollen im zweiten Abschnitt dieses Kapitels auch die Möglichkeiten und Grenzen der Datenerfassung aufgezeigt werden, von denen im Wesentlichen die Bewertung des Verkehrsablaufs abhängt, da sie die Voraussetzung zur Erfassung der beeinflussenden Randbedingungen und somit auch der vorliegenden Verkehrssituation darstellen. Der bestehende Zusammenhang zwischen den die Verkehrsqualität beschreibende Qualitätskriterien, den sich auswirkenden Randbedingungen und den zur Verfügung stehenden Datenerfassungseinrichtungen wurde bereits in der vom Autor ebenfalls verfassten Arbeit zum Thema „Ermittlung von Qualitätsparametern bezüglich inhaltlicher Repräsentanz sowie zeitlicher und räumlicher Verfügbarkeit von Verkehrsdaten“ [SCHM09] in einem Qualitätsmodell grafisch dargestellt. Abbildung 23 stellt eine Erweiterung dieses Qualitätsmodells dar. Das Modell enthält nun auch den in Kapitel 2 geschilderten Wirkzusammenhang nach [WERM02] zwischen den drei, den Verkehrsablauf charakterisierenden Hauptfaktoren Fahrer, Fahrzeug und Fahrraum. Die nochmalige Unterteilung des Qualitätsmerkmals ‚Fahrraum‘ entspricht dabei der Klassifizierung der äußeren Randbedingungen nach dem HBS (siehe HBS Kapitel 2.7). Zur besseren Übersichtlichkeit wurde im erweiterten Qualitätsmodell auf die Darstellung der zu den Qualitätsmerkmalen dazugehörigen Qualitätsindikatoren verzichtet – diese können jedoch im einfachen Qualitätsmodell in [SCHM09] eingesehen werden.

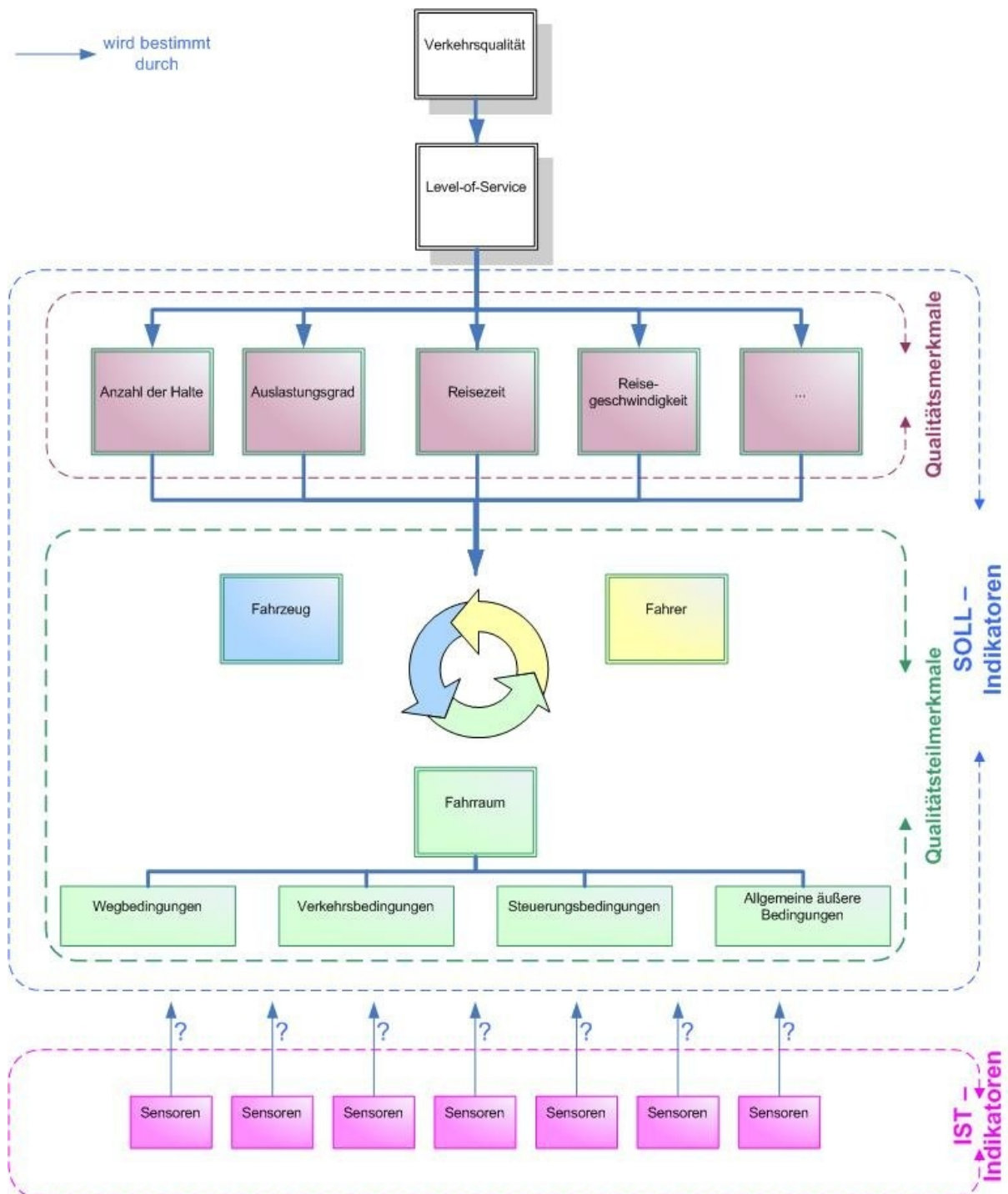


Abbildung 23: Erweitertes Qualitätsmodell nach [SCHM09]

4.2. Einflussfaktoren auf den Verkehrsablauf

4.2.1. Verkehrsnachfrage

Die Verkehrsnachfrage stellt das Bedürfnis eines Verkehrsteilnehmers nach einer Ortsveränderung, d.h. nach räumlicher Mobilität dar. Gründe für das Bedürfnis nach Mobilität können Entfernungen sein, die z.B. zum Arbeitsplatz, zu Einkaufs- und Freizeitmöglichkeiten oder auch zur Schul- und Berufsausbildung zurückgelegt werden

müssen [ERFU10]. Aus diesem Bedürfnis heraus ergibt sich der Wunsch oder auch die Notwendigkeit, bestimmte Strecken zu nutzen oder einen bestimmten Knotenpunkt zu passieren. Somit steht die Nachfrage im Wesentlichen im Zusammenhang mit der Verbindungsfunktion von Straßen, aber auch mit der städtebaulichen Erschließungsfunktion als Folge angrenzender baulicher und sonstiger Umfeldnutzungen. Darüber hinaus hängt der nachgefragte (Kfz-)Verkehr an einem Messquerschnitt (zu einer Zeiteinheit i) insbesondere auch vom Angebot an alternativen Verkehrsmitteln ab. Bezogen auf einen einzelnen Straßenquerschnitt kann die Verkehrsnachfrage definiert werden als „Anzahl der Fahrzeuge, die in einer bestimmten Zeiteinheit (ohne aktuelle Störung des Verkehrsablaufes) den Messquerschnitt passieren würden.“ Dem gegenüber steht die Verkehrsstärke eines Messquerschnittes (je Zeiteinheit i), die im Gegensatz dazu definiert ist als „die Anzahl der Fahrzeuge, die je Zeiteinheit i den Messquerschnitt passieren.“ Die Verkehrsstärke, die durch die Kapazität des Messquerschnittes begrenzt ist, stellt eine messbare Größe dar, wohingegen die Verkehrsnachfrage als stochastische Größe nur geschätzt werden kann. Diese Schätzung erfolgt meist über die Verkehrsstärke [FGSV01]. Wie sich die Verkehrsstärke respektive näherungsweise die Verkehrsnachfrage auf den Verkehrsfluss auswirkt, kann besonders gut anhand des im Grundlagenkapitel dargestellten Fundamentaldiagramms erfolgen. Dabei offenbart sich der Einfluss der Verkehrsnachfrage aus dem Zusammenhang zwischen Verkehrsüberlastungen bzw. Stauzuständen und der Stärke oder Dichte des nachgefragten (Kfz-)Verkehrs. Es ist zu erkennen, dass ein zu hohes Verkehrsaufkommen, d.h. eine zu hohe Nachfrage eine Abminderung des Verkehrsflusses bis hin zum vollständigen Zusammenbruch hervorrufen kann. Ein zu hohes Verkehrsaufkommen kann z.B. Folge des Fehlens gleichwertiger Umgehungs-, Ausweich- oder Alternativrouten sein. Der Einfluss der Nachfrage wirkt sich in solchen Fällen besonders drastisch auf die Qualität des Verkehrsablaufs aus: je höher die Nachfrage und je geringer das Angebot an gleichwertigen Alternativen, desto wahrscheinlicher wird eine ungenügende Einschätzung der zu erwartenden Qualität des Verkehrsflusses. Hinein spielen an dieser Stelle zudem auch einzelne Verkehrsspitzen, die die Verkehrsnachfrage vor allem im Hinblick auf Nutzung der Verbindungsfunktion von Straßen verdeutlichen. Solche Verkehrsspitzen treten z.B. zu bestimmten Tageszeiten (Rush Hour im Berufs- und Feierabendverkehr) oder an bestimmten Wochentagen (Pendlerverkehr am Montag und Freitag) auf und stellen momentane Überlastungszustände infolge des gesellschaftlichen Rahmens (übliche Ladenöffnungszeiten, festgelegter Arbeitszeitbeginn, gängige tägliche Arbeitsstunden etc.) dar. Diese momentanen Überlastungszustände werden in gängigen Regelwerken bei der Bestimmung von Bemessungsverkehrsstärken als Grundlage der Qualitätsbewertung gemittelt (z.B. im HBS Bemessung nach der 30. Stunde, d.h. eine Überlastung in 30 Stunden des Jahres wird in Kauf genommen). Dies hat den Vorteil einer im Sinne der Wirtschaftlichkeit effektiven Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (eine Bemessung nur anhand der Überlastungen würde zu überdimensionierten Verkehrsanlagen und somit zu unnötigen Kosten führen). Mittels der Bemessungsverkehrsstärke kann die Bemessung der Straßenverkehrsanlagen im Hinblick auf die Erreichung bestimmter Verkehrsqualitäten erfolgen – diese Verkehrsqualitäten werden dann in den meisten Fällen der Zeit zutreffen, jedoch nicht im Bereich der höchsten Belastungen. Eine Bewertung der aktuell vorliegenden Verkehrsqualität im Sinne des operativen Verkehrsmanagements kann darüber jedoch nicht erfolgen – das Ergebnis wäre im Bereich der Überlastung eine dauerhaft schlechte Verkehrsqualität:

„Da es bisher nur eine Stufe [sowohl HBS als auch HCM] für den Bereich der Überlastung gibt, ist kein Vergleich zwischen Verkehrsanlagen mit QSV F hinsichtlich einer Quantifizierung der Staudauer oder räumlicher Ausdehnung möglich“ [FSST08]. Arbeiten wie die von [FSST08] haben sich dieses Themas angenommen und sind zu dem Schluss gekommen, dass bei der Bewertung der Verkehrsqualität eine Differenzierung der Beschreibung des Verkehrsablaufs auf überlasteten Verkehrsanlagen, d.h. eine weitere Differenzierung der bisherigen Qualitätsstufe F, notwendig sei und stellen Bewertungsverfahren dafür vor. Die Differenzierung des Überlastungsbereiches birgt einen wesentlichen Vorteil in sich – so können darüber mäßige Staus, die in bestimmten Situationen von bestimmten Verkehrsteilnehmergruppen (z.B. Berufspendler) akzeptiert werden [CAME96], ebenfalls beurteilt und Empfehlungen hinsichtlich der Reaktion auf die zu erwartenden Störungen gegeben werden. [STVT04] stellten in einer Analyse zum Routenwahlverhalten fest, dass die Probanden bei der Entscheidung zwischen zwei Alternativrouten mit gleich langer Strecke, jedoch unterschiedlichen Verkehrszuständen (Fahrzeiten waren dennoch in etwa gleich), eher kurze, stärkere Verkehrsstörungen in Kauf nehmen als längere, aber dafür weniger starke Störungen.

Die Verkehrsnachfrage stellt aufgrund ihrer stochastischen Eigenschaften eine komplexe Größe dar. Ihre vielfältigen Ursachen, aber auch ihre Wirkungen wurden bereits dargestellt. Aus ihr resultieren Schwankungen im Verkehrsablauf, die über die Kenngrößen Verkehrsdichte und Verkehrsstärke messbar und demzufolge beschreibbar werden. Die Verkehrsnachfrage ist jedoch nicht die alleinige Ursache von Schwankungen im Verkehrsablauf. So beeinflussen auch von der Verkehrsbelastung unabhängige Aspekte, wie z.B. die Ortskundigkeit der Verkehrsteilnehmer oder teilweise daraus resultierende Fahrweisen den Verkehrsfluss. [FGSV05]

4.2.2. Verkehrsteilnehmer

Der Verkehrsteilnehmer stellt als subjektiv bewertende und individuell handelnde Person eine kaum zu beschreibende Größe dar. Sowohl die Messbarkeit als auch die Berechenbarkeit seiner Erwartungen sind nicht gegeben, das Verhalten ist nur schwer vorhersagbar. Die Gründe für die fehlende Vorhersagbarkeit des Verhaltens sind vielschichtig – neben der Erfahrung und der Ortskenntnis spielt vor allem der Charakter eine wesentliche Rolle.

Der Charakter eines Fahrers steht in engem Zusammenhang mit seinem Risikoverhalten, das wiederum ausschlaggebend ist für die Art und Weise des Brems- und Beschleunigungsverhaltens oder auch für die Einschätzung von Geschwindigkeiten, Zeitlücken und Abständen z.B. beim Fahren hinter einem anderen Fahrzeug oder bei Überholvorgängen. Das Risikoverhalten ist das Ergebnis der Risikoakzeptanz durch den einzelnen Verkehrsteilnehmer. Die Risikoakzeptanz wiederum folgt aus der Bewertung des Risikos auf Basis der Gefahrenkognition, d.h. der Fähigkeiten des einzelnen Verkehrsteilnehmers zur Identifikation und Abschätzung von Gefahren, sowie auf Basis des Risikos selbst. Das Risiko entspricht dabei dem Produkt aus Schadensausmaß und der Häufigkeit mit der sich der Verkehrsteilnehmer dem Risiko aussetzt, sprich seiner Bereitschaft (Exposition) dazu. Diese Bereitschaft basiert insbesondere auf Grundlage subjektiv empfundener Bewältigungsmöglichkeiten, die sich in den eigenen Fähigkeiten beim Führen des Fahrzeugs, aber auch in der Ausstattung des Fahrzeugs (Airbags, ‚Knautschzone‘, Stabilitätsprogramme, Glatteiswarner usw., die ein Fahrzeug subjektiv

sicher erscheinen lassen) widerspiegeln können. Die sich letztendlich ergebende Bewertung und Akzeptanz des Risikos stellt demnach ebenfalls nur das subjektiv empfundene Risiko dar, woraus sich oftmals ein Widerspruch zwischen der subjektiv wahrgenommenen Sicherheit (bzw. dem wahrgenommenen Risiko) und der tatsächlich vorliegenden, objektiven Sicherheit ergibt. Kritisch wird dies insbesondere in den Fällen, in denen die subjektive Sicherheit größer ist als die objektive, sodass sich der Fahrer in einer kritischen Situation (geringe Sicherheit, hohes Risiko) dennoch vermeintlich sicher fühlt. [SCHL09]

Fahrtzweck, Ortskundigkeit, Erfahrung und Charakter (Risikoverhalten) sind sehr subjektiv auf den Verkehrsteilnehmer und über ihn auf den gesamten Verkehrsablauf wirkende Einflussfaktoren: „Diese in der Praxis nicht messbaren Größen haben einen erheblichen Einfluss und führen dazu, dass Geschwindigkeitsniveau und maximale Verkehrsstärke trotz vergleichbarer Weg-, Umfeld- und Verkehrsbedingungen bei verschiedenen Querschnitten stark variieren.“ [FGSV05]

Auch das Alter der Fahrer kann eine entscheidende Rolle spielen. So haben junge Fahrer ein etwa 3- bis 4-fach höheres Risiko im Straßenverkehr zu sterben und sogar ein 5-fach höheres Risiko zu verunglücken als ältere, erfahrene Fahrer. Häufige Unfallursachen sind bei den jungen Fahrern überhöhte Geschwindigkeiten mit daraus resultierendem Abkommen von der Fahrbahn. Dabei unterscheiden sich junge Fahrer in der psychologischen Leistungsfähigkeit keineswegs von den älteren Fahrzeugführern. Unterschiede sind jedoch in der Fahrzeugbeherrschung (lückenhafte Fähigkeiten besonders im ersten halben Jahr aktiven Fahrens), dem Risikoverhalten (in der ersten Zeit aktiven Fahrens steigt die subjektiv empfundene Sicherheit schneller als die objektiv vorliegende Sicherheit) und vor allem auch aufgrund motivationaler Ursachen (Auslebenstendenzen hinsichtlich Freiheits- und Unabhängigkeitsgefühl, sozialer Status, Mobilität) feststellbar. Probleme, die sich daraus für junge Fahrer ergeben, spiegeln sich in fehlenden Automatismen, der visuellen Suche beim Fahrzeughandling und der sich daraus ergebenden Aufmerksamkeitszuwendung (Ablenkung von eigentlicher Fahrsituation), einer langsameren und weniger zuverlässigeren Gefahrenerkennung, einer wenig ausgeprägten Gefahrenantizipation (Voraussehen der Situationsentwicklung) sowie in der Unterschätzung der Risikowahrnehmung und der Überschätzung der Selbsteinschätzung wider. Ältere Fahrer (über 65 Jahren), die den größten Bevölkerungsanteil bilden, unterscheiden sich in ihrem Fahrverhalten ebenfalls vom Gros der Verkehrsteilnehmer und beeinflussen so den Verkehrsablauf. Sie begehen jedoch im Gegensatz zu den jungen, unerfahrenen Fahrern weniger Normenverletzungen (z.B. Missachtung der vorgegebenen Geschwindigkeit, Fahren unter Trunkenheit etc.). Stattdessen sind bei ihnen stärker Fahrfehler häufige Unfallursachen. Zu solchen Fahrfehlern gehören beispielsweise die Missachtung des Rechtsfahrgebotes, Vorfahrtsmissachtungen oder auch Fehlverhalten beim Abbiegen, Wenden, und Rückwärtsfahren sowie Rotlichtmissachtungen. Gründe hierfür liegen im nachlassenden Sehvermögen und der verringerten Fähigkeit zu Mehrfachtätigkeiten, d.h. zu parallelen Handlungsabläufen sowie selektiver und geteilter Aufmerksamkeit. Auch eine verringerte körperliche Beweglichkeit und Belastbarkeit, schnellere Ermüdung und langsamere Reaktionsfähigkeit, die auf einen verlangsamten Informationserfassungsprozess zurückzuführen ist, spielen in diesem Zusammenhang eine große Rolle. Ältere Menschen können somit schnell der Gefahr der Überforderung unterliegen, insbesondere bei

komplexen Leistungsanforderungen, wie sie beim Führen eines Fahrzeugs vorliegen. [SCHL09]

Der Verkehrsteilnehmer stellt somit die größte Unbekannte innerhalb des Zusammenspiels zwischen Fahrer, Fahrzeug und Umgebung dar. Die Bewertung der Verkehrsqualität im Hinblick auf eine Verbesserung der Informationspolitik und des Angebots bzgl. einer geeigneten Zielführung und Zielerreichung für den einzelnen Verkehrsteilnehmer kann zentral gehandhabt immer nur den gesamten Verkehrsstrom ansprechen, nie aber persönlich und individuell wirken. Das liegt vor allem an unterschiedlichen Fahrtzielen und -zwecken, die das Empfinden vorliegender Verkehrsqualitäten entscheidend bestimmen. Je nach Erwartung oder Bedürfnis kann die Gewichtung verschiedener Qualitätskriterien unterschiedlich ausfallen. Das wiederum hat auch Auswirkungen auf die Bewertung des Verkehrsablaufs durch den Verkehrsteilnehmer. So konnte in der bereits erwähnten Befragung von [STVT04] festgestellt werden, dass die einzelnen Testpersonen bei Vorlage einer Verkehrsfunkmeldung über einen Stau von 3 km Länge ein völlig unterschiedliches „emotionales Stauempfinden“ besitzen: „Bei dieser Voruntersuchung stellte sich [...] klar heraus, dass die Befragten teils völlig gegensätzliche Vorstellungen des zeitlichen Verlaufs der Verkehrssituation haben. [...] Die Äußerungen diesbezüglich reichten von ‚...da könnte man die Nerven verlieren ...‘ bis ‚... wenn das nur 3 km sind, finde ich das o. k.‘.“ Wie bei dem Abschnitt Verkehrsnachfrage bereits beschrieben, ging der Trend bei den Befragten darüber hinaus dahin, lieber kurze, stärkere Verkehrsstörungen in Kauf zu nehmen als die längere aber weniger starke Störung. Es zeigt sich damit, dass Verkehrsteilnehmer durchaus auch schlechte Qualitäten in Kauf nehmen sofern andere Präferenzen erfüllt sind. So stellten in der Befragung auch die Umweg- und Staulängen gegenüber einer direkten Verbindung einen erheblichen negativen Einfluss dar, selbst wenn die direkte Verbindung keinen Zeitvorteil brachte.

Die tatsächlich empfundene Qualität einer Verkehrsanlage oder -situation kann sich demnach deutlich von der rein theoretischen Bewertung anhand objektiver Dimensionierungskriterien, wie z.B. Verkehrsstärke und -dichte, unterscheiden: „Daneben kommen Schwankungen im Verkehrsablauf, die nicht von der Verkehrsbelastung abhängen, sondern in den unterschiedlichen Fahrweisen der Verkehrsteilnehmer (z.B. Wunschgeschwindigkeiten) begründet sind, hinzu. Diese hängen vom Fahrtzweck ab und beeinflussen nicht nur das Geschwindigkeitsniveau, sondern auch die Kapazität an einem Querschnitt.“ [FGSV05]

4.2.3. Witterungseinflüsse

Witterungseinflüsse gehören zu den zyklischen, umfeldbedingten Schwankungen. Insbesondere sind dabei die klimatologischen Einflüsse und Lichtverhältnisse zu verstehen. Zu den klimatologischen Ereignissen, die eine stochastische, zeitlich veränderliche Einflussgröße auf das Fahrverhalten darstellen, zählen Niederschläge (in Form von Regen oder in fester Form, wie Schnee, Graupel, Eis), Wind, Nebel sowie Glatteis. [FSST95] wählt zur Beschreibung die fünf Klimaparameter Trocken, Unbestimmt, Nass, Winterlich und Schnee und ordnet diesen Niederschlagshöhen in [mm] bezogen auf Messintervalle zu (siehe Tabelle 13).

Klimaparameter	Intervalllänge	Niederschlagshöhe	Niederschlagsart
Trocken [T]	7 h 10 h	0 mm 0 mm	kein Niederschlag kein Niederschlag
Unbestimmt [U]	7 h 10 h	0 mm < N < 7 mm 0 mm < N < 10 mm	nur Regen nur Regen
Nass [N]	7 h 10 h	> 7 mm > 10 mm	nur Regen nur Regen
Winterlich [W]	7 h 10 h	> 0 mm > 0 mm	Schneeregen Schneeregen
Sonne [S]	7 h 10 h	> 0 mm > 0 mm	Schnee Schnee

Tabelle 13: Definition der Klimaparameter nach Ponzlet [FSST95]

Für die Berücksichtigung des Tageslichteinflusses nutzt man üblicherweise die aus der Lichtmessung bekannte Beleuchtungsstärke als Maß. Diese wird in Lux angegeben und gibt das Verhältnis des senkrecht auftreffenden Lichtstromes zur Auftrefffläche wider. Bei [FSST95] erfolgt diesbezüglich die Zuordnung zu den Sonnenständen – als den Messintervallen zugeordnete Tageslichtparameter werden dabei die Abstufungen Hell, Dunkel und Dämmerung genutzt (siehe Tabelle 14).

Tageslichtparameter	Sonnenstand
hell	> 0,83°
Dämmerung	0,83° < Sonne < - 6,0°
Dunkel	< -6°

Tabelle 14: Definition der Tageslichtparameter nach Ponzlet [FSST95]

Eine weitere Zuordnungsmöglichkeit bietet darüber hinaus auch das Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ) [MARZ99], das vier Helligkeitsstufen direkt anhand der Beleuchtungsstärke definiert (siehe Tabelle 15).

Helligkeitsstufe	Niedrigere Helligkeitsstufe	Höhere Helligkeitsstufe
Stufe 0 (gleissend hell)	-	15.000 lx
Stufe 1 (Tag)	15.000 lx	2.000 lx
Stufe 2 (Dämmerung)	2.000 lx	100 lx
Stufe 3 (Nacht)	100 lx	-

Tabelle 15: Zuordnung der Parameter für Helligkeitsstufen nach [MARZ99]

Auch die Temperatur (Luft- und Bodentemperatur), die im Zusammenhang mit der Glättegefahr steht, und die vorhandenen Sichtweiten können sich auf den Verkehrsablauf auswirken. Bei den Temperaturen spiegelt sich der Gefahrenbereich natürlicherweise im Gefrierbereich wider – so kann im Temperaturbereich um die Null-Grad-Marke sowie darunter mit Glätte gerechnet werden. Auch starke Abweichungen zwischen der Luft und der Bodentemperatur (wärmere Luft bei kaltem Boden) können sich gefährlich auswirken. Zur Einteilung der Sichtweiten bietet das MARZ eine Stufeneinteilung. Dabei werden sechs Stufen unterschieden, um die Anzeigemöglichkeit von 120 km/h, 100 km/h, 80 km/h, 60 km/h und 50 km/h im Hinblick auf Nebelschaltungen ausnutzen zu können (siehe Tabelle 16). [MARZ99]

Sichtweistestufe	Niedrigere Sichtweistestufe	Höhere Sichtweistestufe
Stufe 0	-	400 m
Stufe 1	400 m	250 m
Stufe 2	250 m	120 m
Stufe 3	120 m	80 m
Stufe 4	80 m	50 m
Stufe 5	50 m	-

Tabelle 16: Zuordnung der Parameter für Sichtweistestufen nach [MARZ99]

Eine umfassende Untersuchung zu Auswirkungen zeitlich veränderlicher Einflüsse auf das Geschwindigkeitsverhalten auf Autobahnen wurde von [FSST95] angefertigt. Er zeigt, dass es neben Unterschieden innerhalb des Tagesverlaufes, an verschiedenen Wochentagen oder auch systematisch zu bestimmten Jahreszeiten zusätzlich nachhaltige Einflüsse der Witterungsverhältnisse auf das Geschwindigkeitsniveau gibt. Da die festgestellten Schwankungen bei [FSST95] nicht allein von der Verkehrsbelastung, sondern auch den unterschiedlichen Wunschgeschwindigkeiten der Fahrer zu verschiedenen Zeiten (je nach Art und Zweck der Fahrt) zurückzuführen sind, konnte festgestellt werden, dass auch die Leistungsfähigkeit der Straßen zeitlichen Schwankungen unterliegt, was sich wiederum auch auf die Verkehrsqualität unabhängig von der Verkehrsbelastung auswirkt. Bei den durchgeführten Untersuchungen ergab ein Vergleich der maximalen Verkehrsstärken bei Optimalbedingungen („hell und trocken“) zu unterschiedlichen Umfeldbedingungen folgenden Einfluss:

- Einfluss von Dunkelheit bei Trockenheit: Geschwindigkeitsreduzierung zwischen 1,5 und 7,5 km/h sowie Reduzierung der maximalen Verkehrsstärke um 10%
- Einfluss von Regen bei Helligkeit: Geschwindigkeitsreduzierung zwischen 0 und 14 km/h sowie Reduzierung der maximalen Verkehrsstärke um 15%
- Einfluss von Regen bei Dunkelheit: Geschwindigkeitsreduzierung zwischen 4,5 und 24 km/h sowie Reduzierung der maximalen Verkehrsstärke um 30%

Mittels einer Varianzanalyse konnten diese zeitlichen Schwankungen auch auf den Bereichen des freien und des teilgebundenen Verkehrs differenziert betrachtet werden: „Dunkelheit reduziert die Geschwindigkeit bei freiem Verkehr in einem geringeren Maße als bei teilgebundenem Verkehr. Bei teilgebundenem Verkehr werden Reduzierungen

von ca. 5 km/h beobachtet. Nässe führt zu einer Reduzierung von mehr als 10 km/h.“ [FSST95]

Es ist jedoch zu differenzieren zwischen den tatsächlichen Ausmaßen der Witterungsbedingungen. So konnte in einem Abgas-Großversuch des VdTÜV 1986 [VTÜV86] festgestellt werden, dass zwar der Witterungseinfluss auf die Geschwindigkeitsverteilung bei stärkerem Regen und nasser Fahrbahn (ca. 4% der Jahresstunden) für Autobahnen mit Richtgeschwindigkeit von 130 km/h eine Geschwindigkeitsabnahme von 10 bis 25 km/h ausmachen kann, andererseits aber bei geringem Regen und nasser Fahrbahn nahezu kein Einfluss auf die Geschwindigkeit festgestellt werden kann. [VTÜV86]

Um diesem Aspekt bei Verkehrssteuerungen Rechnung zu tragen, existieren beispielsweise im bereits erwähnten Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen Niederschlagsstufen, die nach der Regenintensität in trocken und 3 verschiedene Nässegrade abgestuft sind (siehe Tabelle 17). Dabei steht der Zustand „nass 1“ für geringe Regenintensitäten, der Zustand „nass 2“ für mittlere Regenintensitäten mit bereits deutlich verringerter Griffigkeit der Straße und Sichtbehinderungen durch Sprühhahnen und der Zustand „nass 3“ für hohe Regenintensitäten sowie Gefahr von Aquaplaning. [MARZ99]

Niederschlagsstufe	Niedrigere Niederschlagsstufe	Höhere Niederschlagsstufe
Trocken	-	1 mm/h
Nass 1	0,8 mm/h	7 mm/h
Nass 2	6 mm/h	15 mm/h
Nass 3	13 mm/h	-

Tabelle 17: Zuordnung der Parameter für Niederschlagsstufen nach [MARZ99]

In der Untersuchung von [VTÜV86] wurde darüber hinaus auch der Einfluss von Winterglätte (Schnee und Eis) untersucht. Winterglätte, die rund 2% der Jahresstunden ausmacht, ergab dabei eine Reduktion der durchschnittlichen Geschwindigkeit um 40 km/h. Jahreszeitliche Einflüsse an Tagen ohne extreme Wetterbedingungen sind dagegen eher unwesentlich: „Es zeigte sich, dass z.B. auch an Wintertagen ohne Schnee und Regen nahezu gleich schnell wie an den Tagen der übrigen Jahreszeiten gefahren wurde“ [VTÜV86]. Bei leichtem Schneefall ohne stärkere Sichtbehinderungen und noch trockenem Boden ist ebenfalls anzunehmen, dass der Einfluss ähnlich wie bei schwachem Regen keine entscheidende Rolle spielt. Es muss demnach auch bei Schnee und Eis eine Differenzierung hinsichtlich extremer Bedingungen mit tatsächlichem Einfluss erfolgen.

Ungeachtet dessen, dass diese Untersuchungen für Autobahnen angefertigt wurden, kann unterstellt werden, dass innerhalb des Stadtverkehrs zumindest extreme Änderungen der Witterungsverhältnisse Einfluss auf den Verkehrsablauf haben, da Regen und Winterglätte nach [FSST95] im Allgemeinen zu einer Reduzierung der Geschwindigkeiten führen. Genauso ändert sich „nachts und bei geringer Sicht oder Griffigkeit der Fahrbahn [...] das Verhalten der Verkehrsteilnehmer – es wird vorsichtiger

und langsamer sowie mit mehr Abstand gefahren“ [FGSV05]. Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass dies nicht in gleichem Maße wie auf den Strecken von Bundesautobahnen und Fernstraßen der Fall sein wird.

Insgesamt stellen Umfeldbedingungen in Form von Witterungseinflüssen zeitlich variable Größen dar. Im Gegensatz zu Charakteristiken der Verkehrsteilnehmer oder Einflussfaktoren aus dem Bereich des Fahrtzwecks und der Ortskundigkeit stellen sie zumindest messbare Größen dar, deren Vielfältigkeit sowie daraus resultierende verschiedenartige Wirkungen auf den Verkehrsablauf somit immerhin erfassbar sind.

4.2.4. Wechselbeziehungen mit anderen Verkehrsteilnehmern

Generell sind laut Brilon und Schnabel [STVT03] „bei einer anlagespezifischen Bewertung innerörtlicher Straßen [...] alle Verkehrsteilnehmer zu berücksichtigen.“ Dies sind in Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen neben dem Kfz- und Lkw-Verkehr der ÖPNV (Bus und schienengebundener ÖV) und auch der Radverkehr, soweit diese auf der Fahrbahn geführt werden.

Der Verkehrsablauf in städtischen Netzen ist bei hohem Verkehrsaufkommen vor allem durch die gegenseitigen Behinderungen des Pkw-Verkehrs untereinander gekennzeichnet. Je höher die Verkehrsstärken werden, desto wahrscheinlicher ist diese gegenseitige Behinderung und desto stärker werden auch die Auswirkungen, die das Fahrverhalten einzelner Fahrer auf die in seiner Umgebung befindlichen anderen Fahrzeuge ausübt. In diesem Zusammenhang konnte bei mikroskopischen Betrachtungen das Phänomen der Bildung von Fahrzeugpulks beobachtet werden. Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen definiert Pulks (Fahrzeugkolonnen) als „Fahrzeuge einer Fahrzeugreihe, von denen jedes außer dem ersten in seinem Geschwindigkeitsverhalten durch mindestens ein vorausfahrendes Fahrzeug beeinflusst wird“ [FGSV00]. Eine genaue Definition, ab welchem Moment eine Beeinflussung besteht, fehlt jedoch, da dies von der subjektiven Beurteilung der Situation abhängig ist. Bei den mikroskopischen Betrachtungen des Verkehrsablaufs werden das Fahrverhalten einzelner Fahrzeuge sowie deren zeitliche bzw. räumliche Abstände zu den vorausfahrenden und folgenden Fahrzeugen beschrieben – dazu genutzte Parameter sind Weg- und Zeitlücken sowie Momentangeschwindigkeiten und deren Veränderungen über die Zeit. Fahrzeugpuls „entstehen, wenn schnellere Fahrzeuge an langsamere heranfahren und nicht sofort überholen können. In solchen Fällen schränkt das vorausfahrende Fahrzeug das Folgefahrzeug bei dessen Wahl seiner Geschwindigkeit ein. Das Entstehen und insbesondere das Anwachsen von Pulks sind dabei abhängig von der Verkehrsstärke“ [BASE05]. Fahrzeugpuls stellen sich darüber hinaus häufig an Hauptverkehrsstraßen, die in kurzen Abständen mit Knotenpunkten unterbrochen sind, ein. Werden die Streckenabschnitte zwischen den Kreuzungen länger, gleicht sich die Pulkbildung dagegen von selbst wieder aus – durch unterschiedliche Geschwindigkeiten wird der Pulk quasi in die Länge gezogen, die gegenseitigen Behinderungen nehmen dabei wieder ab. Bei der Einrichtung Grüner Wellen wird dagegen bewusst mit der Bildung von Fahrzeugpuls gearbeitet, sodass im Pulk befindliche Fahrzeuge die Kreuzungen auf einem Streckenband möglichst ohne Halte passieren können. Die Pulkbildung wird hierbei als positiv für den Verkehrsfluss angesehen und repräsentiert somit eine hohe Verkehrsqualität.

Der Lkw-Verkehr oder auch Schwerverkehr genannt, kann nach einem zulässigen Gesamtgewicht in Fahrzeuge mit mehr als 3,5 t und Fahrzeugen über 7,5 t unterschieden werden. Die Fahrzeuge mit mehr als 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht „verfügen in der Regel bauartbedingt über ein spezielles fahrdynamisches Verhalten, insbesondere ein geringeres Beschleunigungsvermögen als Pkw, sowie andere Bremscharakteristika und niedrigere, bauartbedingte Höchstgeschwindigkeiten“. Der Lkw-Verkehr ist demnach langsamer als der Pkw-Verkehr und kann somit zu Behinderungen des Pkw-Verkehrs führen mit dem Resultat verringerter Verkehrsqualitäten. „Für den Verkehrsablauf wesentlich bedeutsamer sind allerdings die Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 7,5 t. Bereits ein einzelnes schweres Fahrzeug kann insbesondere an Steigungen große Auswirkungen auf die Verkehrsqualität haben“ [BASE05]. Um den Schwerverkehr bei der Bewertung der Verkehrsqualität zu berücksichtigen, wird beispielsweise im HBS oder dem EWS der prozentuale Anteil am Gesamtverkehr bei der Bestimmung der Bemessungsverkehrsstärken eingebunden. In seiner Untersuchung zu zeitlich veränderlichen Leistungsfähigkeiten konnte [FSST95] einen systematischen Zusammenhang zwischen Lkw-Anteilen und Verkehrsstärken feststellen – so traten hohe Lkw-Anteile meist bei geringen Verkehrsstärken auf, wohingegen die Lkw-Anteile bei hohen Verkehrsbelastungen tendenziell geringer ausfielen.

Der Einfluss des ÖPNV lässt sich mit den Auswirkungen des Lkw-Verkehrs von mehr als 3,5 t vergleichen. Insbesondere beim Fehlen von Sonderfahrstreifen oder eigenen Gleisbetten beim schienengebundenen ÖV sind die Effekte der beim Lkw-Verkehr beschriebenen Eigenschaften erkennbar. Hinzu kommt der Einfluss der notwendigen Halte an den Haltestellen, die sich in besonderem Maße negativ auf die Verkehrsqualität auswirken. Einstreifige Fahrbahnen sind von diesem Effekt dabei stärker betroffen als zwei- oder mehrstreifige Fahrbahnen, auf denen für die nachfolgenden Fahrzeuge die Möglichkeit zum Überholen besteht - obwohl sich selbst dort Behinderungen und Verlangsamungen des Verkehrsflusses feststellen lassen. In hoch belasteten Bereichen existieren oftmals Sonderfahrstreifen, die zur Trennung des ÖPNV und den weiteren Verkehrsteilnehmern führen und eine Beschleunigung für beide Seiten implizieren können – zum einen wird der ÖPNV in Zeiten hohen Verkehrsaufkommens nicht behindert und kann somit den Fahrplan selbst bei Stausituationen auf den entsprechenden Verkehrswegen einhalten, zum anderen beeinflussen die oben beschriebenen Halte den Individualverkehr nicht noch zusätzlich. „Die Auswirkungen auf den fließenden Verkehr sind unter anderem abhängig von Anordnung, Dimensionierung und der verkehrsrechtlichen Regelung auf den Busfahrstreifen“ [BAST02].

Neben den Auswirkungen, die der ÖV auf freien Streckenabschnitten ausübt, ist auch der Einfluss an Knotenpunkten hervorzuheben. Die teilweise an den Kreuzungen existierenden Bevorrechtigungsanlagen ermöglichen den Eingriff des ÖPNV in den Phasenablauf, woraus sich eine längere Freigabezeit oder auch ein früherer Wechsel in die entsprechende Freigabephase ergibt. Folgen können für den Individualverkehr sein, dass dessen eigene Freigabezeit verkürzt wird oder sich durch den schnellen Wechsel von Phasenfolgen erhöhte Rückstaulängen ergeben.

Der am stärksten gefährdete Verkehrsteilnehmer – der Radfahrer – kann sich ebenfalls auf den Verkehrsablauf des Kfz-Verkehrs auswirken sofern er die Fahrbahn gemeinsam mit dem Kfz-Verkehr benutzen muss. Insbesondere die Fahrlinie des Radfahrers trägt zur Beeinflussung bei – diese ist wellenförmig, da das Fahrrad ein auf Balance basierendes

Fahrzeug ist. Die wellenförmigen Pendelbewegungen nehmen zwar mit zunehmender Geschwindigkeit ab, im Mittel liegen die Geschwindigkeiten von Radfahrern aber nur zwischen 15 und 20 km/h (geübte Fahrer fahren teilweise erheblich schneller). Bei hohem Verkehrsaufkommen können Radfahrer aufgrund der niedrigen Geschwindigkeiten zur starken Behinderung und Verlangsamung des Verkehrsflusses auf dem entsprechenden Fahrsteifen führen, vor allem dann, wenn keine Möglichkeiten zum Überholen vorhanden sind. Hinzu kommt die Steigungsempfindlichkeit von Radfahrern – das Verhalten an Steigungen ist sehr individuell je nach Fähigkeiten zur Kraftaufwendung des Fahrers. Radfahrer werden an Steigungen langsamer, die Pendelbewegungen werden stärker – die Auswirkungen auf den Kfz-Verkehr sind dementsprechend gravierender.

4.2.5. Verkehrssteuerung

Zur Verkehrssteuerung zählen sämtliche Einrichtungen zur Beeinflussung des Verkehrsgeschehens. Es kann sich demnach sowohl um Beschilderungen (Hinweisschilder, Wegweiser, Vorfahrtsregelungen, Geschwindigkeitsbeschränkungen etc.) handeln, als auch um Lichtsignalanlagen sowie übergreifende Leittechnik des Verkehrsmanagements.

Über die Verkehrssteuerung können Verkehrsteilnehmer direkt beeinflusst werden – Umleitungen, Vorschläge und Hinweise können durch Verteilung des Verkehrs Entlastungen auf Strecken mit hohem Verkehrsaufkommen herbeiführen. Auch die Einrichtung Grüner Wellen über koordinierte Lichtsignalanlagen entspricht einem solchen Eingriff in das Verkehrsgeschehen über die Verkehrssteuerung und führt zu einer Verflüssigung des Verkehrsgeschehens.

Die einfachste Form der Beeinflussung des Verkehrsflusses stellen Geschwindigkeitsbeschränkungen dar. Ein aus dieser Beeinflussung resultierender Riesezeitverlust kann jedoch nicht gleich gesetzt werden mit dem Zeitverlust bei Behinderungen oder Störungen, da es sich hierbei um Sicherheit gewährende Maßnahmen handelt, die zudem gesetzlich festgelegt sind. Missachtungen der Regelungen können dementsprechend zwar zu einer Verbesserung der Reisezeitbilanz führen, erhöhen aber gleichzeitig nicht nur das Unfallrisiko, sondern auch das Risiko, den Führerschein zu verlieren. Solche gesetzlichen Vorgaben müssen bei der Bestimmung des Idealzustandes als Vergleichswert für eine Bewertung berücksichtigt werden.

Lichtsignalanlagen dienen der Abwicklung des Verkehrsaufkommens an Kreuzungen – sie stellen eine entscheidende Größe für den Verkehrsfluss vor allem in Stadtgebieten dar. Je nach ihrem Entwurf können sie positiv oder auch negativ wirken – schlecht eingestellte Umläufe können beispielsweise lange Rückstaulängen, unzumutbar lange Wartezeiten für einzelne wartepflichtige Kraftfahrzeuge oder auch Wartezeiten für einzelne Fußgänger und Radfahrer, die über eine bestimmte Geduldsschwelle hinaus gehen, bewirken. Dagegen können optimal eingestellte Steuerungsverfahren an Lichtsignalanlagen den Verkehrsfluss auf einem gleichmäßigen Geschwindigkeitsniveau im Bereich der zulässigen Höchstgeschwindigkeit halten und so z.B. den Kraftstoffverbrauch verringern. [FGSV92]

Über ein von der BAST durchgeführtes Forschungsprojekt ([SCHI01]; [BAST01]; [PISC03]) konnten für spezielle Autobahnquerschnitte (MQ 316 und MQ 116) folgende Aussagen

zu Auswirkungen von Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) anhand von Fundamentaldiagramm-Auswertungen getroffen werden:

- Keine signifikanten Auswirkungen der SBA auf die maximale Kapazität bei Anlagen in hoch belasteten Streckenabschnitten
- Aber deutliche Anhebung des Geschwindigkeitsniveaus im Bereich mittlerer und hoher Verkehrsstärken zu verzeichnen (im Mittel bis zu 10 bis 15 km/h)
- Im Bereich von SBA zeigt sich eine gleichmäßigere Auslastung der Fahrsteifen bei mittleren und hohen Verkehrsstärken und gleichzeitiger Aktivierung der SBA (Reduktion des „Linksfahrer-Effektes“)
- Mit Einsatz von SBA ist deutliche Reduzierung der Zusammenbruchswahrscheinlichkeit bei mittleren und hohen Verkehrsstärken zu erreichen – es erfolgt eine Stabilisierung des Verkehrsflusses auf hohem Niveau
- SBA bewirken deutliche Harmonisierung des Verkehrsflusses

Auch wenn sich diese Untersuchungen nur auf Autobahnabschnitte beziehen, ist dennoch erkennbar, dass die Verkehrssteuerung durchaus einen erkennbaren Einfluss auf den Verkehrsfluss besitzt.

4.2.6. Infrastruktur

Unter der Verkehrsinfrastruktur ist der Straßenraum, in dem sich die Verkehrsteilnehmer bewegen, zu verstehen. Zum Straßenraum gehören sowohl die Straße ansich (Fahrbahnband), Einrichtungen zur Verkehrslenkung und -leitung (Fahrbahnausstattung) als auch angrenzende Bereiche (Fahrbahnumfeld). Kennzeichnend für das Fahrbahnband sind folgende Elemente: Anzahl und Breite der Fahrspuren, Breite des seitlichen Freiraums (Bankette), Querneigungen, Kurvenradius, Kurvigkeit, Geradenlänge, Zusatzanlagen für Straßenbahnen und Radfahrer. Zur Fahrbahnausstattung werden dagegen künstlich geschaffene Elemente wie Fahrbahnmarkierungen, Leitpfosten und Schutzplanken, Verkehrszeichen und sonstige Beschilderungen (z.B. Wegweisungen), die sich in der Regel innerhalb des Fahrbahnbandes befinden, gezählt. Das Fahrbahnumfeld umfasst das angrenzende Gelände (z.B. Bürgersteige, Anlagen des ruhenden Verkehrs usw.), vorhandene Bebauung sowie die Bepflanzung.

Das Erscheinungsbild des Straßenraums stellt eine wichtige Informationsquelle für den Fahrer beim Lenken von Kraftfahrzeugen dar: „Von seiner Gestaltung hängen wichtige Parameter des Verkehrsgeschehens ab, z.B. die Geschwindigkeitswahl und das Seitenabstandsverhalten“ [WANN00]. So konnte in zahlreichen Arbeiten (vgl. z.B. [BOCK79]; [STEI92]; [LIPP97]) nachgewiesen werden, dass beispielsweise besonders kleine Radien ($R < 250\text{m}$) einen erheblichen Einfluss auf das Fahrverhalten, insbesondere die erforderliche rechtzeitige Geschwindigkeitsreduzierung besitzen. Eine gerade Linienführung und große Straßenbreiten, welche lange Zeit insbesondere als Maßnahme zur Unfallreduzierung geeignet erschienen, begünstigen hingegen hohe Geschwindigkeiten - der Verkehrsteilnehmer fühlt sich subjektiv sicher, da er weite Entfernungen einsehen kann. Gleichzeitig führt dieses subjektive Sicherheitsempfinden auch dazu, dass die erhöhten Geschwindigkeiten als sicher empfunden werden, auch wenn diese den tatsächlichen Umgebungsbedingungen (z.B. angrenzende Wohngebiete) nicht angepasst sind und somit objektiv die Unfallgefahr wiederum erhöht ist.

Heutzutage kommen aufgrund dessen eher geschwindigkeitsdämpfende Straßenraumgestaltungen zur Anwendung, deren Übersichtlichkeit zwar häufig reduziert ist, die jedoch darüber den Verkehrsteilnehmer zur Adaption seines Fahrverhaltens an die gegebenen Umstände zwingen.

Bei der Gestaltung des Seitenraumes, bei der grundsätzlich zwischen der Orientierungsfunktion (Zusätzliche Informationen über den Streckenverlauf als Ziel) und der Barrierefunktion (Reduzierung oder Anpassung der Geschwindigkeit als Ziel) unterschieden wird, konnte z.B. von [ZWIE02] festgestellt werden, dass zusammenstoßende Baumkronen bei Alleen ebenfalls eine Erhöhung der gefahrenen Geschwindigkeiten zur Folge haben. Grund dafür ist der sog. „Tunneleffekt“, der im Sommer durch die geschlossenen Baumkronen stärker zu Tage tritt und im Winter aufgrund der fehlenden Blätter weniger intensiv wahrgenommen wird (wobei dann im Winter auch die Geschwindigkeitserhöhung nicht beobachtet werden konnte). Auch in Kurven konnte der Einfluss der Bepflanzung auf die Geschwindigkeit nachgewiesen werden – so bewirkte eine Bepflanzung auf der rechten Außenseite der Fahrbahn in Linkskurven ebenso eine Geschwindigkeitserhöhung (aufgrund optischer Leitwirkung). In Bezug auf das Seitenabstandsverhalten, das ebenfalls von [ZWIE02] untersucht wurde, übte hingegen der Abstand vorhandener Bäume zum Fahrbahnrand insofern einen Einfluss auf das Spurverhalten aus, als dass die näher an der Fahrbahn stehenden Bäume eine leicht links versetzt Fahrweise hervorriefen.

Es wird jedoch nicht nur das Fahrverhalten durch die vorhandene Infrastruktur beeinflusst, sondern auch das Blickverhalten. Der Einfluss der Sichtweite beispielsweise wurde von [LIPP05] anhand von Probandenfahrten im Realverkehr und im Simulator untersucht – dabei traten Veränderungen im Blickverhalten der Fahrer bei Sichtweiten unterhalb von 200 m auf, unterhalb von 150 m kommt es sogar auf Geraden zu Verzögerungen. Im Bereich von Kurven wurde dagegen festgestellt, dass der Einfluss des Kurvenradius dominierend ist und die Sichtweite nicht als maßgebender Faktor angesehen werden kann. Das Blickverhalten wird darüber hinaus durch weitere Faktoren beeinflusst. So existieren im Straßenraum neben den tatsächlichen zum Verkehrsgeschehen beitragenden Elementen zur Informierung der Verkehrsteilnehmer auch zusätzliche Informationselemente der Werbeindustrie, die nichts mit der Verkehrslenkung und -leitung zu tun haben, aber dennoch auf den Fahrer einwirken. Die zumeist optisch sehr attraktiv gestalteten Werbeflächen (Leuchtreklamen, großflächige Plakatwände, Diapräsentationen) ziehen die Aufmerksamkeit der Fahrer in starkem Maße auf sich und wirken sich somit sowohl auf das Blickverhalten als auch rückwirkend auf das Fahrverhalten aus. Problematisch können diese Auswirkungen werden, sobald Verkehrszeichen oder Ampeln aufgrund fehlender Farbkontraste zu spät erkannt oder teilweise sogar ganz übersehen werden [WANN00]. Zudem steigt auch die Gefahr der Überforderung des Verkehrsteilnehmers, die letztendlich zu einer Verringerung der Leistungsfähigkeit bzgl. der Auffassungsmenge und -gabe sowie der Verarbeitung der Informationen führt.

Neben dem grundsätzlichen Vorhandensein der gegebenen Verkehrsinfrastruktur wirkt sich auch der Zustand derselben auf das Fahr- und Blickverhalten aus. Gute Straßenverhältnisse tragen zur flüssigen Abwicklung des Verkehrsaufkommens bei, wohingegen Straßenschäden, kaum erkennbare Schilder oder ausgefallene

Beleuchtungen den Verkehrsfluss eher behindern und so zur Verzögerung innerhalb des Verkehrsflusses führen.

4.2.7. Verkehrssicherheit

Die Verkehrssicherheit kann anhand des Unfallgeschehens quantifiziert werden. Je mehr Unfälle auf einem Straßenabschnitt oder einem bestimmten Streckenpunkt stattfinden, umso unsicherer ist dieser. Anhand vorliegender Unfalldaten können pro Streckenabschnitt oder Knotenpunkt die Unfalldichte, Unfallkostendichte sowie Unfallkostenrate über gewisse Zeiträume bestimmt und zur Einschätzung der Qualität des Verkehrsablaufs auf dem jeweiligen Streckenabschnitt oder Knoten herangezogen werden. [IQMO09]

„Bei Tageslicht treten vor allem Unfallereignisse aufgrund der Verkehrsmenge [...] auf, wobei auch Unaufmerksamkeiten und/oder bewusste Fehlhandlungen (z.B. Geschwindigkeitsübertretungen, Abstandsverhalten) zu häufigen Unfallursachen zählen“ [WANN00]. Von besonderer Bedeutung sind jedoch die nächtlichen Sichtbedingungen, da bei diesen die Unfallhäufigkeit und -schwere wesentlich höher ist als bei Tageslicht – das Kuratorium für Verkehrssicherheit in Wien fand in diesem Zusammenhang bei der Betrachtung des Unfallgeschehens nach Lichtverhältnissen innerhalb von Ortsgebieten im Jahr 2006 heraus, dass sich in dieser Zeit fast ein Viertel der Unfälle ereignen, obwohl nur etwa ein Fünftel des Verkehrs in der Nacht stattfindet (siehe Abbildung 24). [WANN08]

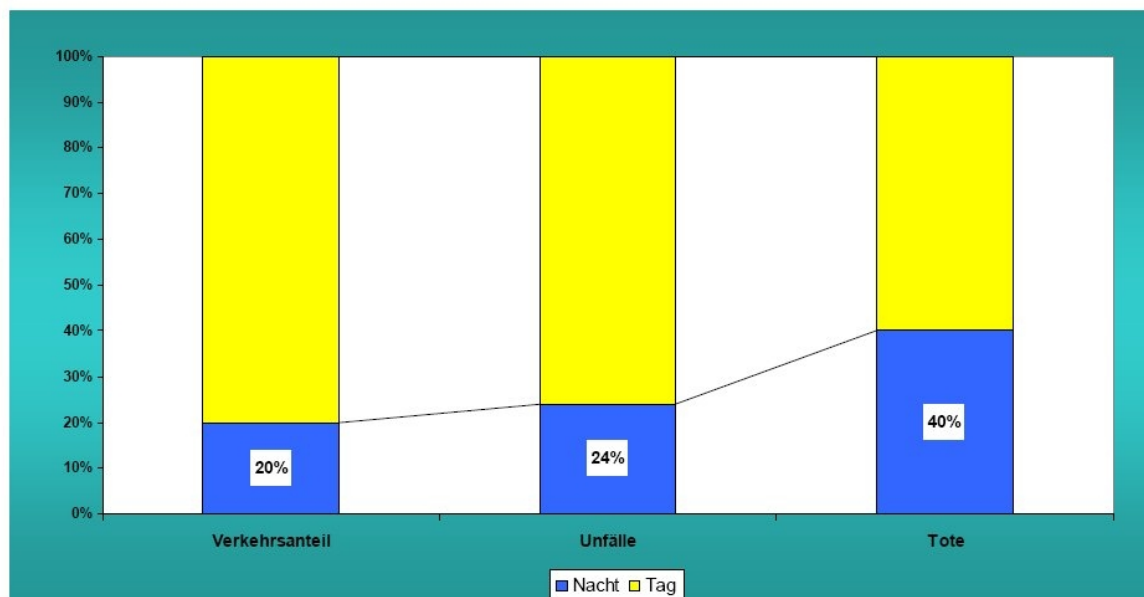


Abbildung 24: Verkehrsanteil und Unfallgeschehen im Jahr 2006 im Ortsgebiet [WANN08]

Zudem konnte festgestellt werden, dass bei Tageslicht nur jeder 150. Verkehrsunfall tödlich endete, wohingegen bei Dunkelheit mit künstlicher Beleuchtung bereits jeder 60. und bei Dunkelheit ohne künstliche Beleuchtung sogar jeder 30. Unfall zum Tod einer Person führte. Die Gründe hierfür sind vielfältig – neben dem abnehmenden Sehvermögen und der zurückgehenden Sehschärfe, ist auch das Farbunterscheidungsvermögen der Verkehrsteilnehmer reduziert. Dagegen ist die

Blendempfindlichkeit gesteigert. Ergebnis ist, dass Entfernungen schlechter geschätzt werden können und die Erkennbarkeit von Hindernissen und anderen Verkehrsteilnehmern herabgesetzt ist. [WANN00]

Auch Trassierungsparameter wie die Fahrbahnbreite, der Kurvenradius und die Kurvigkeit haben einen Einfluss auf die Entstehung von Unfällen. So konnte z.B. von [LIPP97] festgestellt werden, dass schmale Fahrbahnen höhere Unfallraten als breitere aufweisen (Unfallrate sinkt etwa ab einer Grenze zwischen 6,00 m und 6,50 m, ab 7,50 m keine Verbesserungen mehr). Auch beim Kurvenradius konnte von [LEUZ89] gezeigt werden, dass größere Radien das Unfallrisiko minimieren, wohingegen unterhalb einer Größenordnung von etwa 400 m kleinere Radien zu mehr Unfällen führen. Der Zusammenhang zwischen dem Unfallgeschehen und der Kurvigkeit, d.h. der Summe der Richtungsänderungen pro Kilometer, wurde ebenfalls von [LEUZ89] untersucht: kurvige Strecken weisen demnach höhere Unfallraten auf als weniger kurvige Strecken. Wobei neuere Untersuchungen (vgl. z.B. [HAMM08]) auch zeigen, dass dieser Trend bei sehr großen Kurvigkeiten dagegen wieder abnimmt bzw. die Unfallrate sogar leicht sinkt, da diese Strecken (zumeist ältere, bereits bestehende Straßen, die nicht nach modernen Richtlinien konzipiert wurden) häufig geringere Sichtweiten, Fahrbahnbreiten und einen schlechten Straßenzustand aufweisen. Das wiederum führt dazu, dass langsamer gefahren und weniger überholt wird und sich somit die Anzahl der Fahrurfälle (z.B. schwere Überholunfälle) reduziert.

Insgesamt steht die Verkehrssicherheit in einem engen kausalen Zusammenhang mit den anderen genannten Randbedingungen. So wirken sich insbesondere die Infrastruktur und die Witterungseinflüsse in starkem Maße auf die Verkehrssicherheit aus. Aber auch andere Faktoren, wie die eigene Risikobereitschaft des Verkehrsteilnehmers (subjektive vs. Objektive Sicherheit) oder auch dessen Fähigkeiten in Bezug auf das Führen eines Fahrzeugs dürfen in diesem Zusammenhang nicht vernachlässigt werden. Die Verkehrssicherheit stellt jedoch insofern eine eigenständige Randbedingung dar, als dass ein vermehrtes Unfallrisiko an einem Streckenabschnitt oder –punkt auch zu dauerhaft schlechten Verkehrsqualitäten führen kann. Am vorliegenden Unfallhäufungspunkt entstehen nämlich nicht nur Störungen und Verkehrsbehinderungen aufgrund der Unfälle selbst, sondern auch aufgrund der im Nachgang durchzuführenden Maßnahmen zur Beseitigung der Unfallfolgen, die wiederum zu Fahrbahnverengungen oder gar zur Sperrung des Streckenpunktes oder –abschnittes führen können. Schwere Unfallfolgen wirken sich entsprechend stärker aus als leichtere. Folge dessen ist sowohl bei den Unfällen als auch bei der Nachbereitung eine Verminderung der Leistungsfähigkeit auf dem entsprechenden Streckenabschnitt, die durch Steuerungsmaßnahmen möglichst kompensiert werden muss, aber dennoch zur Verschlechterung des Verkehrsablaufs und dementsprechend auch zu einer Verminderung der vorliegenden Verkehrsqualität führt. Diesem Aspekt sollte daher auch in Bezug auf das operative und strategische Verkehrsmanagement ebenfalls eine gewisse Bedeutung beigemessen werden.

Ein neuartiger Vorschlag zur Einbeziehung der Verkehrssicherheit in die Beurteilung der Verkehrsqualität kommt von [FRIE05] – er schlägt zur Beurteilung der Verkehrssicherheit einer Relation die Nutzung des Reiseweitenanteil vor, den ein Verkehrsteilnehmer auf Verkehrswegen verbringt. Er stützt sich dabei auf die Einteilung des Straßennetzes in Kategoriengruppen, wie sie in der RIN vorgenommen wird. Dabei geht er davon aus, dass alle Verkehrswege mit der Kategoriengruppe AA (Autobahnen und autobahnähnliche

Straßen) sicher sind. Verkehrswege bzw. Abschnitte übriger Kategoriengruppen werden nur dann als sicher eingestuft, wenn deren Grundunfallkostenrate gemäß ESN (Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen, FGSV 2003) bzw. bei neuen Straßen die zu erwartenden Unfallkostenrate gemäß den EWS nicht überschritten wird. Orientierungswerte für eine Bewertung können wie in Tabelle 18 festgelegt sein.

SAQ	Anteil der mIV-Reiseweite auf vergleichsweise sicheren Straßen [%]
A	> 90
B	90 bis > 80
C	80 bis > 70
D	70 bis > 60
E	60 bis > 40
F	≤ 40

Tabelle 18: Qualitätsstufen für die Bewertung der MIV-Reiseweite auf vergleichsweise sicheren Verkehrswegen [FRIE05]

Abbildung 25 zeigt beispielhaft die Bewertung einer Relation nach Straßenkategorien sowie nach der zulässigen Geschwindigkeit. Es ist hier eine Relation zwischen zwei Mittelzentren zu erkennen. Der wenig homogene Fahrtverlauf beschreibt eine Ortsdurchfahrt bzw. eine große Fahrtweite auf angebauten Straßen. Aus Sicht der Verkehrssicherheit ist die Angebotsqualität niedrig.

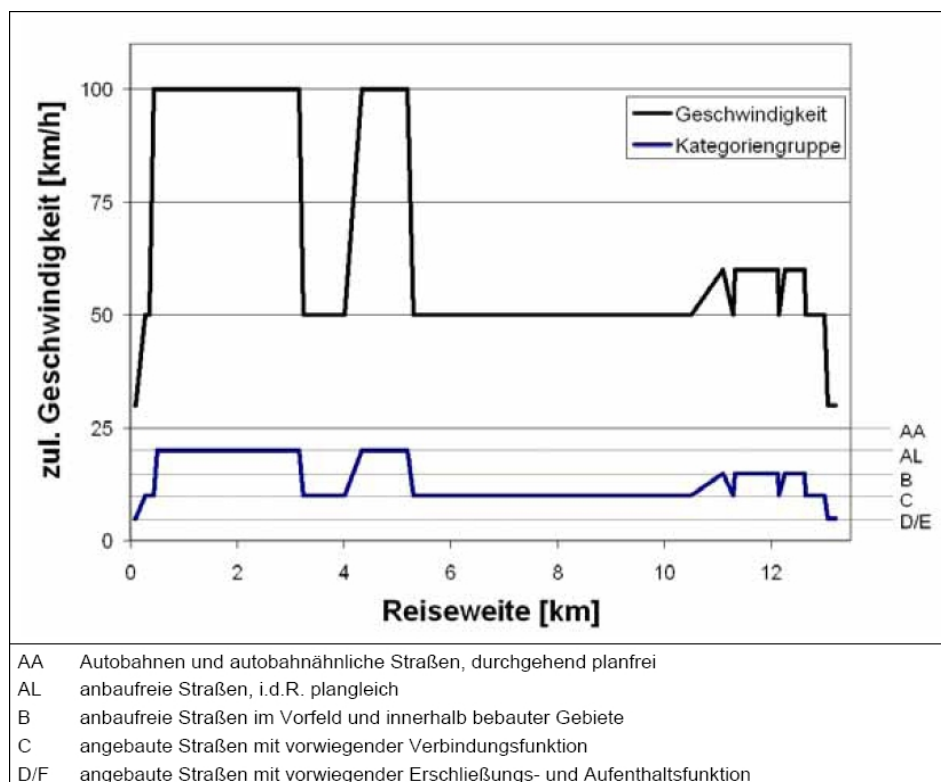


Abbildung 25: Verlauf der zulässigen Geschwindigkeiten und der Straßenkategorien für eine Relation [FRIE05]

4.3. Sensorik zur Verkehrslageerfassung

Der Verkehrslageerfassung kommt innerhalb des Verkehrsmanagements eine besondere Bedeutung zu. Erst das Wissen über die vorhandene Verkehrssituation ermöglicht einen gezielten Eingriff und somit eine strategisch sinnvolle Verkehrssteuerung. Die wichtigste Informationsgrundlage stellt hierbei die Datenerfassung mittels Verkehrsdetektoren dar: „Verkehrsdetektoren stellen Geräte zur automatischen Erfassung von Zuständen und Zustandsänderungen sowie von besonderen Merkmalen und Eigenschaften des Verkehrs dar“ [ABAU08]. Anwendung finden Verkehrsdetektoren üblicherweise außerorts im Bereich von Verkehrsbeeinflussungsanlagen sowie innerorts bei der Steuerung verkehrsabhängiger Lichtsignalanlagen.

4.3.1. Klassifizierung der Sensoren

„Detektoren lassen sich unterscheiden nach der physikalischen Arbeitsweise, der verkehrstechnischen Verwendung, den Mess- und Ausgabegrößen oder der bautechnischen Anordnung“ [FGSV91]. So ist beispielsweise die Unterteilung nach stationären und dynamischen Datenerhebungseinrichtungen möglich, die sich wiederum in querschnitts- und streckenbezogene sowie fahrzeugbezogene Detektion einteilen lässt (siehe Abbildung 26).

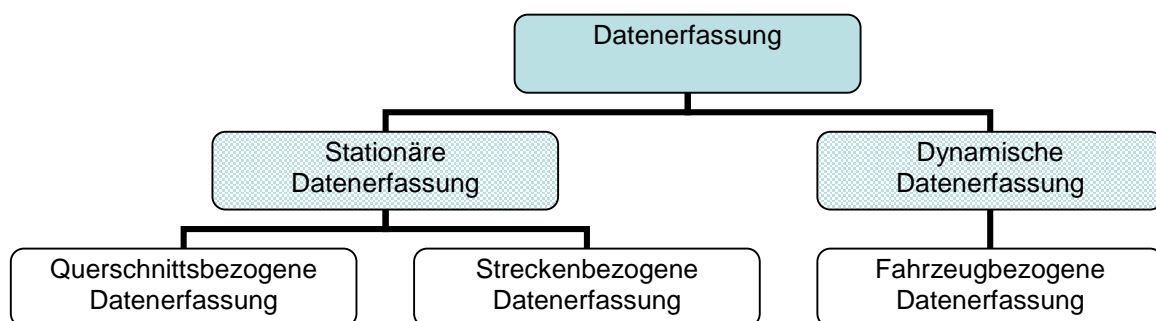


Abbildung 26: Klassifizierung der Datenerfassung nach [FGSV91]

Die zur Verkehrslageerfassung verwendeten Detektoren entsprechen in der Regel straßenseitig installierten, querschnittsbezogenen Sensoren. Die querschnittsbezogenen Detektionen stellen punktuelle Messungen an einem Streckenpunkt (Messquerschnitt) dar. Gemessen werden Größen wie z.B. die Geschwindigkeit, Verkehrsstärke, Verkehrsdichte oder auch Zeitlücken. Die Ausgabe erfolgt zumeist in Einzelfahrzeugdaten mit Zeitstempel oder bereits aggregiert über ein Zeitintervall. Zu den querschnittsbezogenen Detektionsarten zählen z.B. Induktionsschleifendetektoren. Die streckenbezogenen Detektoren beziehen sich auf einen bestimmten Streckenabschnitt, der z.B. mittels Videodetektion erfasst und mit Hilfe spezieller Modelle und Bilderkennungsalgorithmen ausgewertet werden kann. Gemessen werden mit dieser Detektionsart ebenfalls Verkehrsstärken und -dichten, aber auch die Zusammensetzung des Verkehrs und das Verhalten der Verkehrsteilnehmer untereinander.

Neuere Technologien basieren hingegen auf der mobilen Verkehrslageerfassung über Einrichtungen des im Verkehrsfluss mitfahrenden Fahrzeugs. Ein Beispiel hierfür stellen die sog. Floating Car Data (FCD) dar. Diese Art der Datenerfassung wird als fahrzeugbezogene Detektion bezeichnet und basiert auf der fahrzeuginternen Geschwindigkeitsmessung sowie optischen oder Radarsensoren, die es erlauben den Abstand und die Relativgeschwindigkeit zum vorausfahrenden oder nachfolgenden

Fahrzeug zu messen. Mit ihrer Hilfe können Reisezeiten und Fahrzeugtrajektorien, aber auch Spurwechsel, Überholvorgänge, Treibstoffverbrauch und Emissionen erfasst werden. [ABAU08] [FGSV91]

Eine vertiefende Klassifikation der Detektionsarten kann auf Basis der genutzten Messprinzipien entsprechend [FGSV91] erfolgen:

Detektorart	Messprinzip	Beispiele
Berührungs-/Betätigungs-Detektoren	mechanische Betätigung elektrischer Kontakte	pneumatische Detektoren (Bodenschwelle, Druckschlauch), Anforderungstaster (Drucktaster), Schienen- / Fahrdrahtschalter (ÖPNV), Piezo-Koaxialkabel
Strahlungsfeld-Detektoren	Auswertung der Veränderung, Unterbrechung oder Reflexion von Strahlungsfeldern verschiedener Strahlungsarten zur Erfassung von Fahrzeugen	Ultraschall-Detektor, Radar-Detektor, Passiver Infrarot-Detektor, Aktiver Infrarot-Detektor (Bake, Lichtschranke, Lichttaster)
Elektrische Wechselfeld-Detektoren	Beeinflussung eines elektrischen Wechselfeldes durch Metallmassen oder Menschen	Annäherungsschalter (Sensortaste), Kapazitiver Anforderungstaster (Berührungssensor)
Magnetische Detektoren 1. Magnetischer Wechselfeld-Detektor	Veränderung eines magnetischen Wechselfeldes hervorgerufen durch die Metallteile eines Fahrzeuges oder Übertragung von Informationen durch ein vom Fahrzeug selbst erzeugtes Wechselfeld	Induktivschleifendetektor (Langschleifen-, Doppelschleifen-, Einzelschleifendetektor), beim ÖPNV: Koppelspule, Leiterschleife, Schienenschalter, Gleisfreimeldesystem, Weichensperrkreis
2. Magnetischer Gleichfeld-Detektoren	Veränderung eines magnetischen Gleichfeldes durch die Metallmasse eines Fahrzeuges	Magnetischer Schienenschalter (ÖPNV)
Bild-Detektoren	Erfassung des Verkehrsgeschehens durch elektronische Kameras und Auswertung mittels Computer und entsprechender Bildverarbeitungs-Software	Videodetektoren

Tabelle 19: Detektionsarten unterschieden anhand des Messprinzips nach [FGSV91]

4.3.2. Verkehrstechnische Anwendung der Sensoren

Aus den zugrunde liegenden physikalischen Messprinzipien ergeben sich unterschiedliche Fähigkeiten der verschiedenen Detektionsarten. Eine Übersicht über die Eignung der einzelnen stationären Detektoren für die verschiedenen Verkehrsarten

sowie die möglichen verkehrstechnische Anwendungen ist in Tabelle 20 nach [KOB07] dargestellt.

Detektorart	Zur Erfassung von					Verkehrstechnische Anwendung						
	Kfz	Straßenbahn	Busse	Fußgänger	Radfahrer	Zeitpunkt	Anwesenheits-/Verweildauer	Zählen	Richtung	Geschwindigkeit	Fzg-Klasse	
Induktivschleifendetektor	+	•	+		+	+	+	+	+	+	+	
Radardetektor	+	•			•	•		+	•	+		
Passiv-Infrarot-Detektor	+	•	•	•	•	+	•	+	•	•	•	
Bakensystem	+	+	+			•	•	•	•	•	•	
Lichtschranke	+	•	•	•	•	+	+	+	+	+	•	
Pneumatischer Detektor (Druckschlauch)	+		+		•	+		+	+			
Anforderung (Drucktaster bzw. Berührungssensor)				+	+	+						
Fahrdrahtschalter		+				+		+				
Magnetfelddetektor (Gleichfeld)	•	•	•			•			•	•		
Magnetfelddetektor (Wechselfeld)	•	•	•			•	•	•	•	•	•	
Bild-Detektor	+	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Legende: + = übliche Anwendung • = bedingt eingesetzt bzw. einsetzbar												

Tabelle 20: Übersicht über die Detektorarten nach [KOB07]

Trotz der Vielfältigkeit der technisch möglichen Erfassungseinrichtungen kommen im Bereich des motorisierten Individualverkehrs nur wenige Detektionsgruppen tatsächlich zum Einsatz. So werden hauptsächlich Detektoren genutzt, die den Gruppen der magnetischen Detektoren, Strahlungsfeld- sowie Bild-Detektoren angehören. Am gängigsten ist hierbei die lokale Verkehrsdatenerfassung mittels Induktivschleifendetektoren. Gründe für deren Verwendung sowohl bei bestehenden Systemen als auch weiterhin bei neu zu errichtenden Systemen liegen vor allem in ihrer Technologie. Diese hat sich vielfach auch in staugefährdeten Gebieten durch eine hohe Genauigkeit in der Datenerfassung bewährt und bietet darüber hinaus eine geringere Anfälligkeit gegenüber Witterungseinflüssen ([ABAU08], [LEHN05]). Weitere Vor- aber auch Nachteile der verschiedenen Detektionsarten sind Tabelle 21 zu entnehmen, die in Anlehnung an [BOHO06] aufgestellt und erweitert wurde.

Detektionsart	Vorteile	Nachteile
Magnetische Detektoren	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Genauigkeit der Datenerfassung • Geringe Anfälligkeit gegenüber Witterungseinflüssen • Auch dicht hintereinander fahrende Fahrzeuge können unterschieden werden • Neben reiner Anwesenheitserfassung ist auch Zählen der Fahrzeuge möglich • Fahrzeugarten sind unterscheidbar • Erfassung nach Richtung und Gegenrichtung ist möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten für Tiefbau und Verkabelung bei großen Entfernungen zum Steuergerät hoch • Erfassung von Radfahrern und Motorrädern z.T. problematisch, sodass Nachjustierungen nötig werden • Einbau nur unter Störung des Verkehrsablaufs möglich • Bei Fahrbahnerneuerungen häufig Schäden, sodass ein Ersatz erforderlich wird • Effekte durch Fahrbahnverrückungen • Änderung des Messquerschnittes nachträglich nicht möglich • Einsatz z.T. nicht möglich (z.B. bei Brücken, Kopfsteinpflaster und Straßenschäden)
Strahlungsfeld-Detektoren	<ul style="list-style-type: none"> • Erfassung von Fußgängern, Radfahrern und Motorrädern ist möglich • Schnelle und einfache Installation mit nur geringer Verkehrsstörung • Auch bei Brücken und Kopfsteinpflaster einsetzbar • Änderungen des Messquerschnittes nachträglich möglich • Hohe Lebensdauer und geringe Kosten 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfassung nicht immer zuverlässig – Fehlanforderungen sind möglich (z.B. durch in den Erfassungsbereich ein- oder ausparkende Fahrzeuge, Radfahrer etc.) • Erfassung witterungsempfindlich (Probleme bei Regen, Nebel, Wind) • Für Ferndetektion ungünstig – maximaler Erfassungsbereich ca. 100m • Optische (vor Ort) Justierung erforderl., da keine Äste, Sträucher etc. in den Erfassungsbereich hineinragen dürfen) • Erfassung nach Richtung und Gegenrichtung nur bedingt möglich • Erfassung z.T. problematisch, da teilweise Abschattungseffekte auftreten
Bild-Detektoren	<ul style="list-style-type: none"> • Erfassung von Fußgängern, Radfahrern und Motorrädern ist möglich • Kosten geringer, da mit einer Kamera mehrere Querschnitte erfasst werden können • Einfache und schnelle Installation bei geeigneten Befestigungsmöglichkeiten • Ebenfalls bei Brücken und Kopfsteinpflaster einsetzbar • Verkehrsablauf ist reproduzierbar • Ggf. Verfolgung und Wiedererkennung einzelner Fahrzeuge • Fahrzeugart erfassbar • Kein Eingriff in die Straße notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfassung ist witterungsempfindlich (Probleme bei nasser Fahrbahn, Nebel und Schnee) • Erfassung z.T. problematisch bei dichtem Kfz-Verkehr, da (partiell) Verdeckungen im hinteren Bildbereich auftreten können • Erfassung ist lichtempfindlich: Probleme bei Dunkelheit und Sonneneinstrahlung • Optische (vor Ort) Justierung erforderlich • Probleme können bei der Montage auftreten, da nicht immer günstige Befestigungsmöglichkeiten mit der erforderlichen optischen Perspektive bestehen
Berührungs-Detektoren / Elektrische Detektoren	<ul style="list-style-type: none"> • Taster besonders geeignet zur Erfassung der Anforderungen des Radfahrer- und Fußgängerverkehrs 	<ul style="list-style-type: none"> • keine Erfassung der Fahrzeugart • keine Erfassung der Geschwindigkeit • mit Ausnahme pneumatischer Detektoren keine Eignung für den motorisierten Individualverkehr

Tabelle 21: Vor- und Nachteile der Detektorarten in Anlehnung an [BOHO06]

4.3.3. Einsatz weiterer Sensoren im verkehrstechnischen Umfeld

Neben den Detektoren zur Erfassung des Verkehrs werden auch in zunehmendem Maße sog. Umwelt-Detektoren zur Erfassung der Umwelteinflüsse eingesetzt. Diese Detektoren dienen der Registrierung von:

- Temperatur
- Wind
- Feuchtigkeit
- Regen
- Helligkeit
- Sichtweite
- Schadstoffen
- Schall (Lärm)
- Feuer
- Rauch
- Wasserstand
- Nebel
- Glatteis
- Schnee

In der Tabelle 22 nach [FGSV91] sind die verschiedenen Arten der Umwelt-Detektoren zusammengefasst. Sie enthält darüber hinaus das Messprinzip und den Erfassungsgegenstand des jeweiligen Detektors sowie dessen verkehrstechnische Anwendung.

Arten der Umwelt-Detektoren	Messprinzip	Zur Erfassung von	Verkehrstechnische Anwendung
Kohlenmonoxyd (CO-Detektor)	Ionisierung, Ladungsänderung	Kohlenmonoxyd, Abgase	Lüftersteuerung im Tunnel, Tunnelsperrung
Sichtweiten-Messgerät (Nebel-/Rauch-Detektor)	Strahlungsabsorption (Transmissiometer, Streulichtmesser)	Nebel, Rauch	Nebelwarnung, Lüftersteuerung im Tunnel, Tunnelsperrung
Wärme-Melder (Brand-Meldesystem)	Direkte Einwirkung	Feuer	Tunnelsperrung
Glatteis-Melder	Indirekte Methoden über Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Zustand und Temperatur der Fahrbahnoberfläche	Eisbildung auf Fahrbahn	Geschwindigkeitsbeschränkung, Winterdienst
Niederschlags-Messgerät (Regen-Detektor)	Aufsammeln des Niederschlags	Regen, Schnee, Hagel	Geschwindigkeitsbeschränkung
Helligkeits-Messgerät (Dämmerungsschalter)	Lichtmessung	Umgebungs-helligkeit	Beleuchtungssteuerung
Wind-Messgerät (Windfahne, Anemometer)	Mechanische Einwirkung	Windrichtung und -geschwindigkeit	Geschwindigkeitsbeschränkung
Wasserstands-Melder (Schwimmschalter)	Mechanische Einwirkung	Wasserstand	Tunnel- bzw. Straßensperrung
Lärm-Messgerät (Schallpegel-Messer)	Direkte Einwirkung	Lärm und Schallbelästigung	Geschwindigkeitsbeschränkung

Tabelle 22: Umwelt-Detektorarten [FGSV91]

4.3.4. Zusammenhang zwischen Sensorik und Verkehrsqualität

Die vorhandenen Verkehrsdetektoren ermöglichen die Erfassung der vorliegenden Verkehrssituation. Sie liefern dementsprechend die als Grundlage weiterer Untersuchungen, wie z.B. die Bewertung des Verkehrsablaufs, notwendige Datenbasis. Für die Aussagefähigkeit und –kraft dieser Datenbasis im Hinblick auf die Qualitätsbewertung des Verkehrsablaufs ist jedoch insbesondere deren eigene Qualität von entscheidender Bedeutung. Erst qualitativ hochwertige Daten ermöglichen eine hohe Genauigkeit im Hinblick auf die Auswertung der Daten und die daraus resultierende Bewertung. In diesem Kontext existieren für die Datenqualität ebenfalls Qualitätsmerkmale. Im Leitfaden für das Qualitätsmanagement [FGSV98] wird beispielsweise gefordert, dass Informationen, die in verschiedenen Projekten wiederkehrend verwendet werden, systematisch gesammelt, ergänzt und geändert werden sollten, um fortwährend aktuelle Daten zur Verfügung zu haben. Darüber hinaus muss sichergestellt sein, dass alle für Planungsleistungen benötigten Dokumente und Daten vollständig, rechtzeitig und in gültiger Fassung dem Bearbeiter zur Verfügung stehen. Als Qualitätsmerkmale ergeben sich somit:

- Vollständigkeit / Umfang,
- Genauigkeit,
- Zuverlässigkeit.

[FSST04] fassen diese drei Qualitätsmerkmale als sog. Qualitätsdimensionen auf, die die jeweiligen Perspektiven, unter denen man den qualitätsmäßig zu bewertenden Gegenstand betrachtet, repräsentieren: „Je nach Perspektive ergeben sich dann verschiedene Qualitätsmerkmale, die sich in den jeweiligen Erscheinungsformen realisieren“ (Tabelle 23 nach [FSST04] verdeutlicht diese Denkweise).

Qualitätsdimension	Qualitätsmerkmal	Erscheinungsformen
Thematik	Umfang	<ul style="list-style-type: none"> - inhaltliche Vollständigkeit - thematische Genauigkeit (Attributgenauigkeit) - Konsistenz (Widerspruchsfreiheit) - Identifizierbarkeit - semantische Genauigkeit
Raum	Genauigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - räumliche Vollständigkeit - Abstraktion/Auflösung - Lage- und Höhengenaugigkeit - Skalierbarkeit
Zeit	Zuverlässigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Herkunft der Daten (Produzent, Quelle, Bearbeitungsprozesse) - Aktualität - zeitliche Genauigkeit - Funktionalität - Zugreifbarkeit - Verfügbarkeit - Fortführbarkeit - Änderbarkeit - Übertragbarkeit - Anpassbarkeit - Portabilität - Effizienz

Tabelle 23: Qualitätsdimensionen zur Bewertung der Datenqualität [FSST04]

Als weitere Qualitätsmerkmale nennen [FSST04] darüber hinaus die Herkunft der Daten, Aktualität, Konsistenz, Zugreifbarkeit, Identifizierbarkeit, Abstraktionsniveau, Verwendung, Funktionalität, Effizienz und Auflösung.

Es ist demnach von großer Wichtigkeit, dass die vorhandene Sensorik in der Lage ist Daten so aufzunehmen, dass die geforderten Qualitätsmerkmale eingehalten werden. Kann die Sensorik dies gewährleisten, können qualitativ hochwertige Daten in die Bewertung der Verkehrsqualität einfließen. In Folge dessen stellt sich eine erhöhte Aussagekraft ein, was wiederum zu einer höheren Genauigkeit bei der Bewertung führt.

Der sich daraus ergebende Rückschluss muss schließlich lauten, dass insbesondere auch die Datenaufnahme selbst wiederum qualitativ hochwertig sein muss, um qualitativ hochwertige Daten aufnehmen zu können. Für die Datenerfassung geltende Qualitätsmerkmale sind ähnlich denen der Datenqualität: Vollständigkeit, Zuverlässigkeit, Genauigkeit (ausreichende Mess- und Übertragungsgenauigkeit). Hinzu kommen die Funktionsfähigkeit, aber vor allem auch Ausfallsicherheit bzw. geringe Störanfälligkeit sowie eine gleichbleibende Qualität der Messergebnisse, d.h. es sollte eine gewisse Unabhängigkeit von äußeren Einflüssen (wie Witterung, Schmutz, Erschütterungen) vorliegen. [FGSV91]

Darüber hinaus sind messtechnische Einflussgrößen wie die Position der Messstelle (vor, in und nach einem Engpass), die Länge der Messintervalle (z.B. 1-, 5-, 15-min oder auch 1-h Intervalle) sowie das Messverfahren an sich von Bedeutung.

Auf die Charakteristiken und Eigenschaften der verschiedenen Arten der Messwerterfassung wurde bereits eingegangen. „Die Messung an lokalen Punkten ermöglicht beispielsweise insbesondere die Berücksichtigung von Einflussgrößen der Fahrwegeigenschaften wie Straßenart, Anzahl der Fahrstreifen, Steigung, Kurvigkeit oder Fahrbahnbreite“ [FGSV05]. Dagegen können fahrzeugbezogene, nicht stationäre Messungen diese Einflussgrößen aufgrund der sich ständig ändernden Fahrwegeigenschaften über der Strecke nur schwer erfassen. Der Vorteil bei fahrzeugbezogenen Messungen ist wiederum, dass die über die Gesamtdauer der Messung konstanten fahrer- und fahrzeugtypspezifischen Abhängigkeiten direkt abgeleitet werden können.

In [FGSV05] konnte über eine eigenständige Messung der Verkehrsflussparameter Geschwindigkeit und Verkehrsstärke in 1-Minuten-Intervallen auf einem Autobahnabschnitt der A1 aus der Messung auch ein Einfluss der Bezugsintervalle gewonnen werden: „Zum Teil ist der Einfluss verkehrsstärkeabhängig, d.h. mit zunehmender Verkehrsstärke verringert sich der Einfluss.“ Für die maximal beobachteten Verkehrsstärken konnten dabei folgende Zusammenhänge zwischen dem Bezugsintervall von einer Stunde q_{60} und 1 Minute q_1 , 5 Minuten q_5 sowie 15 Minuten q_{15} beobachtet werden:

$$q_1 = 1,34 \cdot q_{60}$$

$$q_5 = 1,18 \cdot q_{60}$$

$$q_{15} = 1,09 \cdot q_{60}$$

Die Position der Messstelle ergibt sich je nach Ziel der Erfassung. Zur Beurteilung der Fähigkeiten von Lichtsignalanlagen hinsichtlich der Bewältigung des

Verkehrsaufkommens bietet es sich an, Sensoren vor der Kreuzung im Wartebereich zu installieren. So kann der Bedarf ermittelt werden oder auch Rückstaulängen, Vorrückvorgänge und Wartezeiten, die den Verkehrsablauf an diesen Stellen charakterisieren. Hingegen ist bei der Beurteilung des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitt von Vorteil, auf Daten von Sensoren zurückgreifen zu können, die möglichst unbeeinflusst von Kreuzungen und ihren Auswirkungen sind. Befinden sich diese Detektoren zu nah am Kreuzungsbereich verfälscht beispielsweise der Rückstau der Kreuzung den tatsächlichen Ablauf auf der freien Strecke. Bei der Video-Detektion spielt in diesem Kontext insbesondere auch der einsehbare Bereich eine entscheidende Rolle. Überdeckungen durch in den Sichtbereich hereinragende Gegenstände (Bäume, Pflanzen, Häuser, Lichtmasten o.ä.) sind daher bei der Installation auszuschließen. [FGSV91]

Fazit ist, dass die Qualität der Datenerfassung entscheidend die Qualität der vorliegenden Daten und somit auch die anhand dessen durchgeführte Qualitätsbewertung des Verkehrsablaufs beeinflusst. Um die gewünschte Qualität zu realisieren ist es demnach wichtig, auch in diesem Bereich gewisse Qualitätskriterien einzuhalten sowie messtechnische Einflussgrößen zu berücksichtigen.

4.4 Zusammenfassung

Es konnte dargestellt werden, welche Rahmenbedingungen bei der Bewertung der Verkehrsqualität zu beachten sind. Aufbauend auf einem bereits bestehenden Qualitätsmodell wurden diesbezüglich die Auswirkungen der Verkehrsnachfrage, der am Verkehr beteiligten Verkehrsteilnehmer, der Witterungseinflüsse, der Wechselbeziehungen zwischen den verschiedenen Verkehrsteilnehmerarten, aber auch der Verkehrssteuerung, Infrastruktur und Verkehrssicherheit erläutert und soweit existent mit vorhandenen Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses auf den Verkehrsablauf unterlegt. Es konnte festgestellt werden, dass jeder einzelne Einflussfaktor spezifische Eigenheiten besitzt, die wiederum unterschiedlich auf den Verkehrsfluss einwirken. Darüber hinaus beeinflussen sich diese Größen zum Teil gegenseitig, sodass weitere Verknüpfungen und Abhängigkeiten entstehen.

Auch die zur Aufnahme des Verkehrsablaufs benötigte Sensorik wurde dargelegt und ihre Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten sowie Vor- und Nachteile im verkehrstechnischen Umfeld aufgezeigt. Auch der Einfluss der Verkehrsdetektoren im Hinblick auf die Bewertung der Verkehrsqualität wurde dargestellt. Es wurde insbesondere auch auf die notwendige Qualität der Datenaufnahme als Basis für weitere Betrachtungen eingegangen.

Das Kapitel gibt somit einen umfassenden Überblick über die im Zusammenhang mit der Qualitätsbewertung zu berücksichtigenden Randbedingungen und Voraussetzungen, die den Verkehrsablauf zu einem höchst komplexen Gebilde werden lassen.

5. Konzeptioneller Ansatz zur Identifikation von Qualitätskriterien

5.1. Regelkreis des operativen Verkehrsmanagements

Die Arbeitsweise des operativen Verkehrsmanagements kann anhand eines Regelkreises verdeutlicht werden (siehe Abbildung 27). Dieser Regelkreis beinhaltet die zu vollziehenden Schritte vom vorliegenden Verkehrsablauf über dessen Erfassung bis hin zur Auswertung der Daten, die anhand eines Bewertungsmodells die Beurteilung desselben ermöglicht.

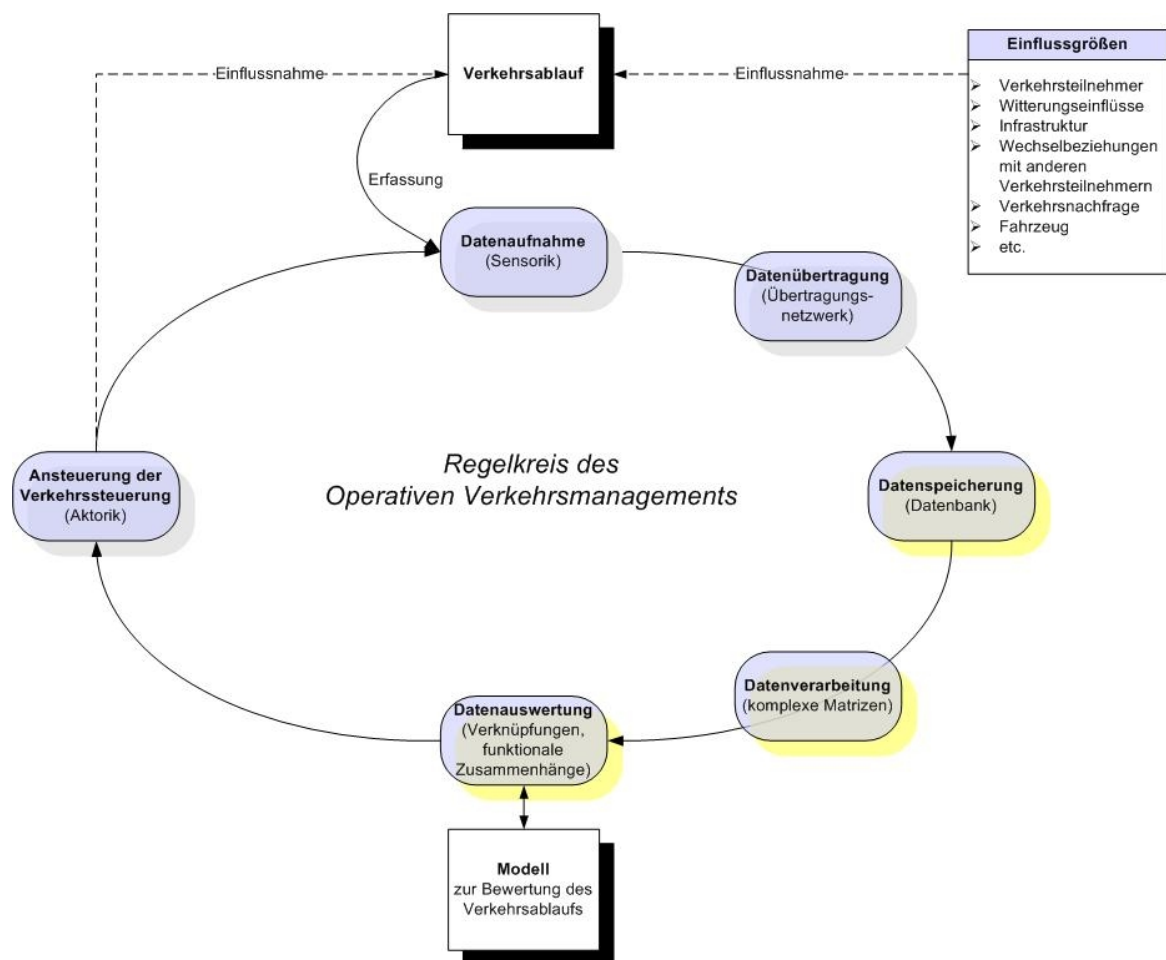


Abbildung 27: Regelkreis des operativen Verkehrsmanagements

Mit Hilfe des Regelkreises wird grafisch dargestellt, dass der vorliegende Verkehrsablauf, der von bestimmten Rahmenbedingungen abhängig ist, zunächst über die existierende Verkehrssensorik (Verkehrsdetektoren) in Echtzeit erfasst wird. Die aufgenommenen Daten werden über das Übertragungsnetzwerk einem Speichermedium (Datenbanken) zugeführt. Die gespeicherten Daten werden dann als komplexe Matrizen verarbeitet und über Funktionen und Verknüpfungen, die auf Modellen zur Bewertung des Verkehrsablaufs basieren, ausgewertet. Ergebnis dieser Auswertung sind letztendlich Empfehlungen hinsichtlich Maßnahmen und Steuerungsstrategien zur Reaktion und Einflussnahme auf den vorliegenden Verkehrsablauf, um Engpässen, Störungen sowie anderen beeinflussenden

Geschehnissen entgegen zu wirken, sodass der Verkehrsablauf optimiert wird. Über die Ansteuerung der Verkehrsleittechnik erfolgt letztendlich der entsprechende Eingriff auf den Verkehrsablauf. Rückwirkend werden so erzielte Veränderungen im Verkehrsfluss wiederum durch die Verkehrsdetektoren erfasst, sodass sich der beschriebene Kreislauf zur fortwährenden Anpassung an die gegebene Verkehrssituation ergibt.

Für die vorliegende Arbeit liegt der Fokus auf der Betrachtung der Komponenten Datenspeicherung, Datenverarbeitung sowie Datenauswertung – sie wurden daher entsprechend farblich hervorgehoben (gelb unterlegt).

5.2. Herleitung des Untersuchungsgegenstands

Für die Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs ist letztendlich die Fähigkeit der Modelle zur Beschreibung und Bewertung des Verkehrsgeschehens innerhalb des Regelkreises von entscheidender Bedeutung. Die Zielsetzung sollte demnach darin bestehen, die zugrunde liegenden Modelle so exakt wie möglich zu formulieren. Dafür erscheint es wiederum notwendig, den Verkehrsfluss nicht nur im Sinne des funktionalen Zusammenhangs zwischen Verkehrsstärke und Verkehrsqualität zu beurteilen, sondern auch weitere Einflussgrößen, wie sie im Kapitel 4 beschrieben wurden, als für das Verkehrsgeschehen vorliegende Rahmenbedingungen einzubeziehen. Der Grund hierfür liegt in der Annahme, dass auch diese Rahmenbedingungen, die innerhalb der Bewertungsverfahren der gängigen Regelwerke ausgespart werden, einen Einfluss auf das Verkehrsgeschehen besitzen und demnach Beachtung bei der Beurteilung des Verkehrsablaufs finden sollten. Im Kapitel 4 konnte diese Annahme bestätigt werden. Anhand von bereits durchgeführten Untersuchungen konnten teilweise sogar konkrete Einflussstärken aufgezeigt und die Berechtigung einer Einbeziehung in die Qualitätsbewertung dargelegt werden. Die bisherige Aussparung dieser Einflussgrößen in den Regelwerken ist insofern nachvollziehbar, als dass die in den gängigen Werken beschriebenen Verfahren gemäß ihrer Zielstellung die planerische Beurteilung einer Verkehrsanlage hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und der Qualität des Verkehrsablaufs in den Fokus der Betrachtung rücken. In diesem Zusammenhang stellen z.B. die allgemeinen äußeren Randbedingungen wie Witterungseinflüsse als zufällige Größen einen schwer einzuberechnenden Einflussfaktor dar, der zudem nicht dauerhaft sondern nur zyklisch vorliegt und demnach nicht als repräsentativer Zustand angesehen werden kann. Die vorhandenen Verfahren gehen daher zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität grundsätzlich vom Idealzustand aus, der durch trockene Fahrbahnen und gute Sichtverhältnisse (Tageslicht) beschrieben wird. Dies geschieht jedoch unter Einbußen der Aussagekräftigkeit [WERM02], [FGSV05]. Im Bereich der Verkehrsplanung ist solch eine Herangehensweise durchaus legitim, da dieser Idealzustand im Grunde eine Mittelung der verschiedenen möglichen Umgebungszustände darstellt – für das operative Verkehrsmanagement erscheint diese Herangehensweise jedoch ungeeignet, da die Aussagekraft der operativen Qualitätsbewertung vor allem bei Abweichungen vom Idealzustand von besonderem Interesse ist.

Um nun die bisher ausgesparten Einflussgrößen in die Bewertung des Verkehrsablaufs einfließen zu lassen, muss zunächst deren Zusammenhang mit den zur Bewertung des Verkehrsgeschehens herangezogenen Qualitätskriterien geklärt werden. Das Ziel soll es dabei sein, einen funktionalen Zusammenhang zwischen beiden herauszufiltern, der es

erlaubt, Stellgrößen hinsichtlich der Wirkung der Einflussgrößen abzuleiten. Mit der Ableitung solcher Stellgrößen, die wiederum eine Automatisierung im Sinne des oben beschriebenen Regelkreises ermöglichen, könnte die bisher rein manuelle Erkennung der Einflussfaktoren abgelöst werden.

Der gesuchte Zusammenhang zwischen den existierenden Einflussgrößen und den Qualitätskriterien wird, wie in Kapitel 4 bereits dargelegt, im vom Autor aufgestellten Qualitätsmodell [SCHM09] deutlich. Es dient vordergründig zur Identifikation potentieller Einflussfaktoren auf den Verkehrsablauf, wie sie in Kapitel 4 beschrieben wurden. Das Qualitätsmodell bildet die Qualitätsbetrachtung in einer Top-Down-Vorgehensweise ab. Dabei wird von der Verkehrsqualität als abstraktem Begriff ausgegangen, der mit Hilfe von Qualitätsmerkmalen beschrieben und quantifiziert werden kann. Diese Qualitätsmerkmale entsprechen den aus den Bewertungsverfahren in Kapitel 3 herauskristallisierten Qualitätskriterien. Zu ihnen gehören die mittlere Wartezeit, die Reisezeit und die Reisegeschwindigkeit genauso wie die Anzahl der Halte, der Auslastungsgrad usw. Die Qualitätsmerkmale wiederum werden von sog. Qualitätsteilmerkmalen (Randbedingungen) beeinflusst, die ihrerseits durch einzelne Qualitätsindikatoren charakterisiert werden können. Qualitätsmerkmale, -teilmerkmale und -indikatoren bilden zusammen die Soll-Indikatoren, die in ihrer Gesamtheit die den Verkehrsablauf beschreibenden Größen darstellen und mit denen entsprechend eine vollständige Beschreibung derselben möglich wäre. Dem Gegenüber stehen die Ist-Indikatoren, die die vorhandenen Mittel zur Erfassung der Soll-Indikatoren darstellen. Die Frage, die sich durch die Erstellung des Qualitätsmodells in [SCHM09] ergeben hatte, bezog sich auf den Übergang zwischen den Soll- und den Ist-Indikatoren. Genauer ging es hierbei um die Erfassbarkeit der zur vollständigen Beschreibung des Verkehrsablaufs notwendigen Qualitätsindikatoren durch die in der Realität vorhandenen Verkehrsdetektoren. Es konnte festgestellt werden, dass vor allem im Bereich der allgemeinen äußeren Randbedingungen, sprich der Witterungs- und Straßenverhältnisse, eine nur sehr ungenügende Abdeckung durch die genutzten Verkehrsdetektoren erzielt werden kann und entsprechende Einflüsse auf den Verkehrsablauf nur schwer nachvollziehbar sind. Somit ist auch der Einbezug in die Bewertung des Verkehrsablaufs nur mit Einschränkungen gegeben.

An diesem Punkt soll im Folgenden angesetzt werden. Ausgangspunkt der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den graduellen Auswirkungen der Einflussgrößen und den der Beschreibung des Verkehrsablaufs dienenden Qualitätskriterien ist die Betrachtung des oben erläuterten Qualitätsmodells in umgekehrter Richtung (Bottom-Up-Vorgehensweise). Das bedeutet, dass in diesem Fall von den zur Verfügung stehenden Verkehrsdetektoren zur Erfassung des Verkehrsgeschehens und den aus ihnen generierten Verkehrsdaten ausgegangen wird. Anhand dieser Überlegung stellt sich die Frage, ob eine Erfassung der Einflussgrößen neben den verkehrsstärkeabhängigen Kenngrößen möglich ist und inwiefern sich die allgemeinen äußeren Einflussfaktoren auf die Beschreibung des Verkehrsablaufs durch die Qualitätskriterien auswirken respektive die zusätzlichen Einflüsse anhand der Qualitätskriterien überhaupt quantifiziert werden können. Um dieser Frage nachzugehen wird eine empirische Untersuchung auf Basis vorliegender, realer Messdaten vorgeschlagen.

5.3. Identifikation geeigneter Kriterien zur komplexen Qualitätsbewertung

5.3.1. Voraussetzung: Messstrecke des DLR

Mit Hilfe der im Folgenden beschriebenen empirischen Untersuchung soll der Zusammenhang zwischen den Qualitätskriterien, die zur Beurteilung des Verkehrsablaufs herangezogen werden und den sich auf den Verkehrsfluss auswirkenden Einflussgrößen systematisch analysiert werden.

Hierfür steht in Zusammenarbeit mit dem Praxispartner Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Standort Berlin-Adlershof, Abteilung Verkehrsmanagement die Messstrecke des DLR am Ernst-Ruska-Ufer in Berlin zur Verfügung, deren Spezifika zunächst erläutert werden sollen.

Die Messstrecke des DLR befindet sich im Südosten Berlins im Ortsteil Adlershof am Rande des Wissenschaftsstandortes Wista und stellt einen Streckenabschnitt des Ernst-Ruska-Ufers dar. Es handelt sich hierbei um eine zweistreifige, zweispurige Hauptverkehrsstraße, die hauptsächlich der Erschließung des Wista-Geländes sowie als Verbindungsstrecke zwischen der Stadtautobahn und den Ortsteilen Adlershof und Köpenick dient.

Für die Verkehrslageerfassung kommen auf der Messstrecke folgende Verkehrsdetektoren zum Einsatz:

- 45 Doppelinduktivschleifen-Detektoren,
- 8 Radar-Detektoren,
- 9 Video-Detektoren.

Desweiteren existiert direkt neben der Messstrecke eine Wetterstation. Eine Übersicht über die Messstrecke und die Lage der einzelnen Detektoren kann dem Lageplan in Anlage R entnommen werden.

5.3.2. Einschränkungen hinsichtlich des Untersuchungskonzeptes

Aufgrund der vorhandenen Datenquellen (neben den Sensoren zur Erfassung des Verkehrsflusses nur Sensorik zur Messung der Witterung) erfolgt eine Einschränkung auf die Untersuchung des Zusammenhangs der Qualitätskriterien mit den Witterungseinflüssen. Es muss angemerkt werden, dass es sich durch solch eine Einschränkung bei der Untersuchung nur um einen Teilschritt des Gesamtkonzeptes in Bezug auf die ganzheitliche Erfassung der Komplexität der Qualitätsbewertung des Verkehrsablaufs und somit der exakteren Formulierbarkeit der Bewertungsmodelle handelt. Über diese Einschränkung kann daher lediglich exemplarisch die Herangehensweise aufgezeigt und so der Weg für weitere Untersuchungen geebnet werden. Daneben bietet sich jedoch der Witterungseinfluss auch für eine Untersuchung an. In einer Befragung von Verkehrsteilnehmern zur Einschätzung der Relevanz verschiedener Einflussgrößen [SCHM09] konnte dahingehend gezeigt werden, dass Verkehrsteilnehmer auch den Witterungseinfluss (insbesondere Glatteis, Schnee und Nebel) als für den Verkehrsfluss relevant bewerten.

5.3.3. Relevanzfilter

Der Relevanzfilter stellt ein aufgrund der gegebenen Voraussetzungen und notwendigen Einschränkungen erstelltes Hilfsmittel zur ersten Identifikation geeigneter Kriterien für die komplexe Qualitätsbewertung dar. Mit Hilfe des Relevanzfilters sollen die in Kapitel 3 herausgearbeiteten Qualitätskriterien, die generell zur Bewertung des Verkehrsablaufs herangezogen werden, über drei Filterstufen soweit gefiltert werden, dass letztendlich nur noch Kriterien mit bestimmten Eigenschaften in die weiteren Untersuchungen einfließen. Das Filterstufenprinzip mit den drei Stufen und den zugehörigen Eigenschaften, die die Qualitätskriterien aufweisen müssen, kann wie folgt dargestellt werden:

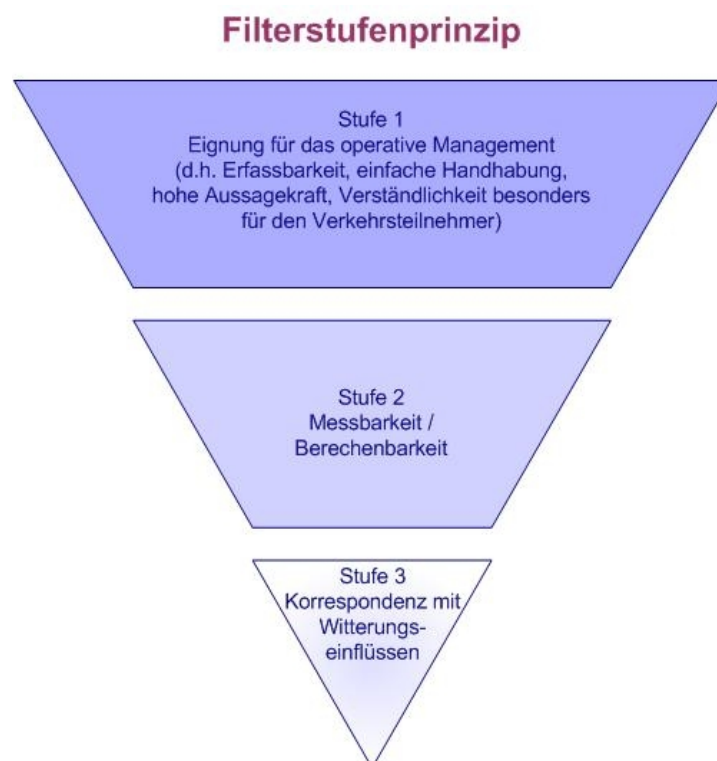


Abbildung 28: Filterstufenprinzip

Die Qualitätskriterien, die es im weiteren Verlauf empirisch zu untersuchen gilt, müssen demnach geeignet für die Nutzung innerhalb des operativen Verkehrsmanagements sein – das heißt insbesondere, dass diese Kriterien aus der Verkehrssituation heraus aufgenommen werden können und möglichst direkt zur Verfügung stehen, ohne umständlich aus weiteren Kenngrößen hergeleitet werden zu müssen. Zudem sollten die Kriterien im Hinblick auf die Nutzung als Informationsquelle für den Verkehrsteilnehmer die Verkehrssituation so wiedergeben können, dass der Verkehrsteilnehmer durch die Beschreibung und Bewertung des vorliegenden Verkehrsgeschehens bereits bekannte Verkehrszustände assoziieren und entsprechende Erwartungen aufbauen kann. Eine weitere wichtige Voraussetzung stellt die Messbarkeit bzw. Berechenbarkeit eines Qualitätskriteriums dar. Diese zweite Filterstufe korrespondiert mit der Erfassbarkeit und der dementsprechenden Eignung für das operative Management. Erst die Messbarkeit ermöglicht die Quantifizierung und somit eine objektive Einschätzung des Verkehrsgeschehens über das jeweilige Kriterium. So ist zum Beispiel die Grenzzeitlücke

eine reine subjektive Größe, die zwar für auf Hauptverkehrsstraßen einmündende Nebenstraßen von besonderer Wichtigkeit für den Verkehrsfluss ist, aber dennoch bisher weder gemessen noch berechnet werden. Der Grund dafür liegt in der menschlichen Psyche – je nachdem wie das Risikoverhalten ausgeprägt ist, wie groß die Erfahrungen sind oder auch in welcher Gefühlslage sich der Fahrer befindet, kann sich die Grenzzeitlücke teilweise stark unterschiedlich ausprägen, was wiederum selbst eine Mittelung dieser Größe erschwert. Auch der Konfliktfaktor kann weder gemessen noch berechnet werden, sondern muss über manuelles Aufstellen der Konfliktmatrix ermittelt werden. Die letzte und entscheidende Filterstufe ist schließlich die Filterung der Qualitätskriterien nach dem Vermögen, weitere Einflussgrößen bei der qualitativen Bewertung des Verkehrsablaufs abbilden zu können. Entsprechend des Untersuchungszieles ist es von besonderer Relevanz, dass die Kriterien eine eventuelle Beeinflussung durch weitere Einflussgrößen überhaupt quantifizieren können – so kann beispielsweise angenommen werden, dass sich die Witterung sehr wohl auf die Geschwindigkeit niederschlägt und dementsprechend die Verkehrsqualität bei starkem Regen durch eine Geschwindigkeitsreduktion beschrieben werden kann. Dahingegen wird die Länge des Staus nicht maßgeblich beeinflusst – bei gleicher Anzahl an Fahrzeugen wird die Schlange der Wartenden durch Regen weder auffällig kürzer noch länger als wenn es nicht regnen würde. Bei dieser dritten Filterstufe soll bewusst darauf hingewiesen werden, dass es sich bei dem angenommenen, eventuell bestehenden Zusammenhang zwischen dem Witterungseinfluss und dem jeweiligen Kriterium zunächst nur um eine Hypothese handelt, da diese schließlich erst noch untersucht werden soll.

Insgesamt stellen somit die ersten beiden Filterstufen sicher, dass eine Einbindung der untersuchten Qualitätskriterien in ein automatisches, im operativen Verkehrsmanagement einsetzbares Erkennungs- und Bewertungssystem, generell möglich ist. Die dritte Stufe zeigt dagegen die Möglichkeit der Einbeziehung weiterer Einflussgrößen durch das jeweilige Qualitätskriterium auf. Kann ein Qualitätskriterium alle drei Filterstufen passieren, erscheint es als Untersuchungsgegenstand für die weitere empirische Analyse geeignet.

Entsprechend des dargestellten Filterprinzips wurde die Tabelle der Qualitätskriterien aufgegriffen, von Dopplungen bereinigt und mit drei zusätzlichen Spalten, die jeweils die einzelnen Filterstufen darstellen, versehen. Diese Tabelle kann in der Anlage S eingesehen werden.

Dabei stellen die hellgrün unterlegten Zeilen die Qualitätskriterien dar, die sämtliche Filterstufen positiv durchlaufen haben und somit für weitere Untersuchungen zur Verfügung stehen. Es konnte festgestellt werden, dass hierbei insbesondere die gängigsten Kriterien aus den Standardwerken wie die mittlere Wartezeit, Verkehrsdichte und –stärke, aber auch die Reisegeschwindigkeit und Reisezeit weiterhin in Betracht gezogen werden können. Hinzu kommen Kriterien, die bisher nur im Standardwerk RIN Beachtung finden, wie die Sicherheit, Zuverlässigkeit und der Komfort. Diese Größen spiegeln speziell die Befindlichkeiten der Verkehrsteilnehmer wider und erscheinen dementsprechend umso bedeutungsvoller für weitere Untersuchungen. Die gefilterten Qualitätskriterien sind nochmals in Tabelle 24 zusammengefasst.

Kriterium	Eignung für	Messbarkeit /Berechenbarkeit	Korrespondenz mit Wettereinfluss
Mittlere Wartezeit / Verlustzeiten	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Abstand zwischen Fahrzeugen (Zeit- bzw. Weglücke)	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Verkehrsdichte	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Reisegeschwindigkeit	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Reisezeit	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Verkehrsstärke	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Zusammenbruchswahrscheinlichkeit	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Zeitaufwand (Luftliniengeschwindigkeit)	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Zuverlässigkeit (Verlustzeiten)	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Sicherheit	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Komfort	Operatives VM	(x)	J à Hypothese!
Legende: ‚X‘ = ist messbar, ‚-‘ = nicht messbar, (x) = bedingt messbar ‚N‘ = korrespondiert nicht mit, ‚J‘ = korrespondiert mit ... (ist jedoch zunächst nur eine Annahme)			

Tabelle 24: gefilterte Qualitätskriterien

5.4. *Herangehensweise an die prototypische Implementierung*

Als Herausforderung bei der Identifikation der Zusammenhänge zeigt sich die bereits anhand des Qualitätsmodells ersichtliche Komplexität des Verkehrsablaufs. Aufgrund der sich teilweise gegenseitig beeinflussenden Größen ist eine direkte Auswirkung externer Einflüsse wie der Witterungseinflüsse nur schwer direkt messbar. So sind beispielsweise neben wochentagsabhängigen Verkehrsstärken auch tages- und jahreszeitliche Schwankungen, Ferienzeiten- und Feiertags-Einbrüche bzgl. der Nachfrage bestimmter Strecken oder die Ausrichtung von Großereignissen sowie Pulkbildungen aufgrund von Knotenpunkten mit LSA zu berücksichtigen. Darüber hinaus stellt der Verkehrsteilnehmer eine individuelle Größe dar, deren Verhalten nicht vorhersagbar ist. Sehr subjektiv auf ihn wirkende Einflussfaktoren wie z.B. der Fahrtzweck oder auch die Ortskundigkeit sind kaum messbare Größen genauso wie die Risikobereitschaft jedes einzelnen Verkehrsteilnehmers, die sich auch auf das Abstandsverhalten auswirkt und die Gewöhnung an gewisse Zustände.

Für eine Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den als geeignet gefilterten Qualitätskriterien und den Witterungseinflüssen müssen daher zusätzliche weitere Einflussgrößen soweit es geht ausgeschlossen werden. Um beispielsweise die wochentagsabhängigen Schwankungen als Grund für unterschiedliche Verkehrsabläufe auszusondern, soll ein spezieller Tag über das gesamte Jahr betrachtet werden. Als Tag wurde in diesem Fall der Dienstag gewählt – Anlass dafür ist seine Repräsentativität für den im Durchschnitt in der Woche stattfindenden Verkehrsablauf. Montage und Freitage sind ungeeignet, da an diesen Tagen insbesondere der Pendlerverkehr den Verkehrsfluss bestimmt. Das Wochenende wiederum impliziert aufgrund des fehlenden Berufsverkehrs sehr geringe Verkehrsstärken, sodass der Samstag und Sonntag ebenfalls im Vergleich anderen Tagen nicht geeignet sind den durchschnittlichen Verkehrsablauf der Woche

darzustellen. Es bleiben somit nur der Dienstag, Mittwoch und Donnerstag als repräsentative Tage. Die Wahl fiel letztendlich auf den Dienstag, da ein Tag im Rahmen dieser Arbeit als ausreichend erachtet wird. Es ist jedoch anzumerken, dass auch die beiden anderen Tage genutzt werden können im Sinne der vorgeschlagenen Untersuchung.

Da es auch innerhalb des Ablaufs eines Tages weitere Schwankungen gibt, die zu unterschiedlichen Auswirkungen auf den Verkehrsfluss führen, ist es notwendig, das spezifische Muster des Tages z.B. hinsichtlich der auftretenden Zeitlücken zwischen den Fahrzeugen an einem Messpunkt (Nettozeitlücken) oder der gefahrenen Geschwindigkeiten über den Tag zu identifizieren. Dafür müssen Tagesganglinien dieser Kenngrößen erstellt werden. Diese Tagesganglinien können dann als Bezugsdiagramme dienen. Anhand der darin auftretenden Muster sind beispielsweise Erkenntnisse über die Zeiten des höchsten Verkehrsaufkommens (Rush Hour), aber auch über Laden- und Theaterschließzeiten ableitbar. Erst wenn das spezifische Muster bekannt ist, sind auch Aussagen über zusätzliche Einflüsse wie Witterungseinflüsse möglich. Um eine ungefähre Ahnung von der Komplexität der auszuschließenden Randbedingungen zu bekommen, die bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den der Verkehrsablaufbeschreibung dienenden Qualitätskriterien und dem Einfluss der Witterung vorliegen, wurde Abbildung 29 entworfen. Diese stellt mittels eines Flussdiagramms die im Kontext der Erfassung der Komplexität notwendigen Ausschlüsse zur Extrahierung der externen Einflussgrößen dar.

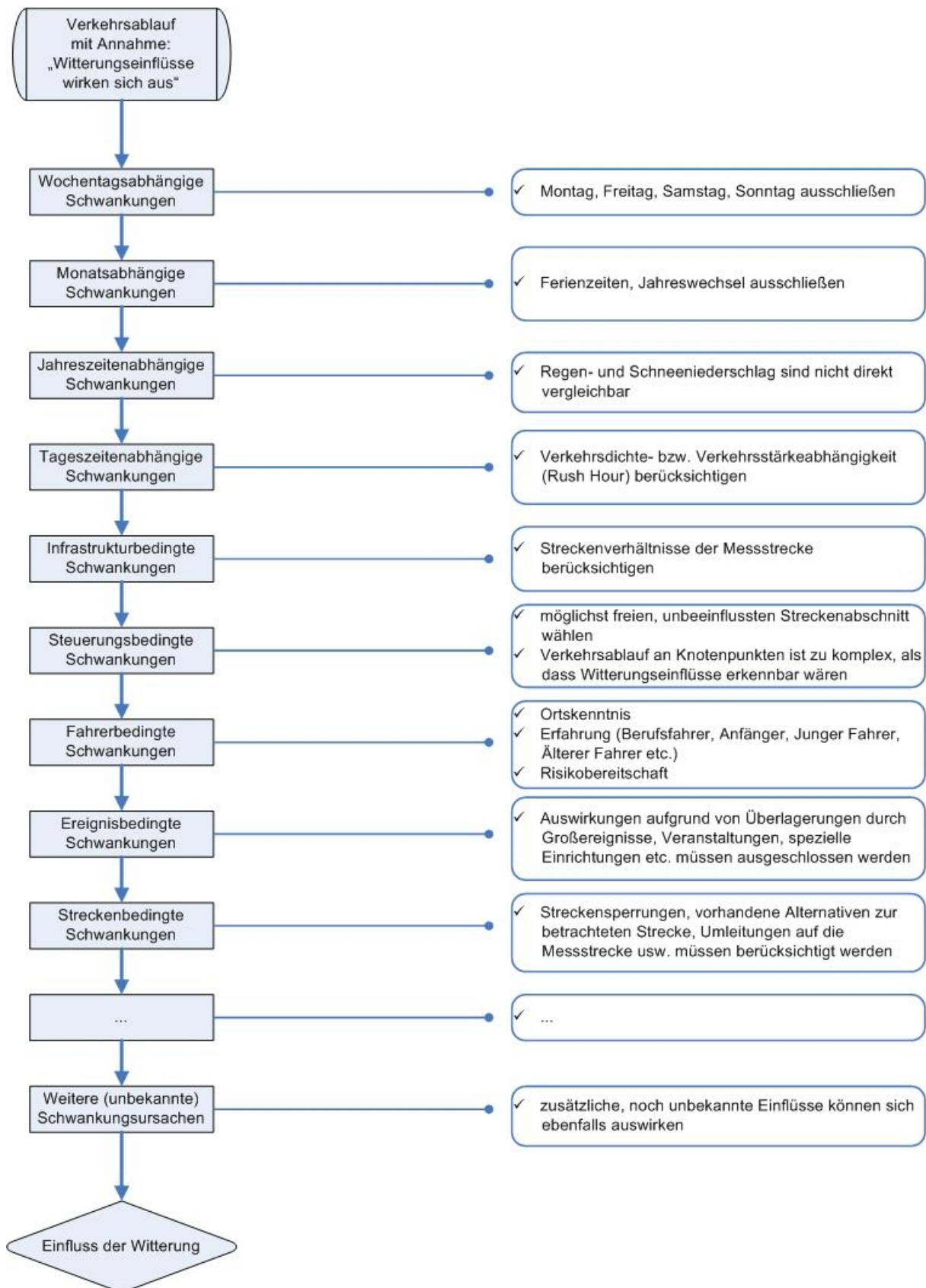


Abbildung 29: Flussdiagramm der auszuschließenden Einflussfaktoren

Neben Schwankungen, die aus anderen Einflussgrößen resultieren, existieren darüber hinaus weitere Schwankungen, die sich bereits allein aus dem einen Einflussfaktor Witterung ergeben. So wirken sich z.B. nicht nur die verschiedenen Witterungseinflüsse generell unterschiedlich auf den Verkehrsfluss aus, sondern auch die Wichtung bei der Wahrnehmung der jeweiligen Art der Witterung durch den Verkehrsteilnehmer kann Unterschiede in den Auswirkungen hervorrufen. Abbildung 30 zeigt, durch welche Bedingungen sich die verschiedenen Witterungsarten jeweils in ihrer Auswirkung und Bewertung verändern können. Je nachdem wie deren Ausprägung tatsächlich ist, verändert sich auch ihre Relevanz für die Verkehrsqualität. In der Übersicht wurden die Größen Wind und Temperatur ausgespart – Gründe dafür sind zum einen, dass sich Wind besonders bei schnellen Geschwindigkeiten bemerkbar macht; im innerstädtischen Verkehr sind die gefahrenen Geschwindigkeiten jedoch vergleichsweise gering. Zum anderen beeinflussen Temperatureinwirkungen insbesondere die anderen Kriterien und fließen darüber in die Übersicht ein. Zudem ist der Wahrnehmungsunterschied durch den Verkehrsteilnehmer bei unterschiedlichen Temperaturen nicht so stark ausgeprägt – kalte oder heiße Außentemperaturen wirken sich zwar auf die Umgebung aus, nicht jedoch auf den Fahrer selbst, da dieser Temperaturen bis zu einem gewissen Grad kompensieren kann (Heizung, offene Fenster, Klimaanlage).

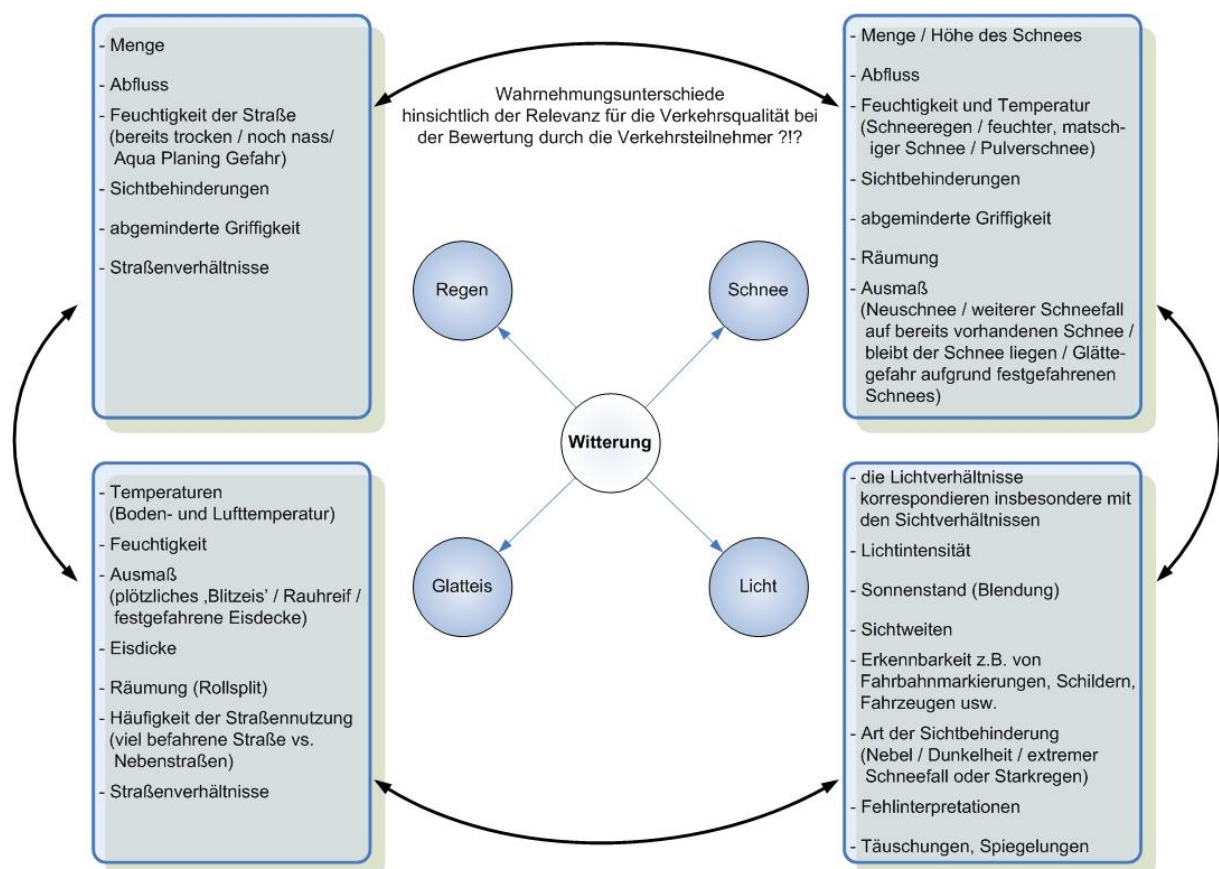


Abbildung 30: Faktoren der Ausprägung und Wahrnehmung der verschiedenen Witterungseinflüsse

5.5. Zusammenfassung

Es konnte dargestellt werden, inwiefern sich die weiteren Schritte der Arbeit in den Regelkreis des operativen Verkehrsmanagements einordnen. Darüber hinaus wurden die weitere Vorgehensweise und deren Ziele dargelegt, die sich in der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Qualitätskriterien, die den Verkehrsablauf charakterisieren, und weiteren Einflussgrößen widerspiegeln. Die prototypische Implementierung dieser Untersuchung soll dabei insbesondere den Zusammenhang zwischen den Qualitätskriterien und der Witterung näher beleuchten. Über die Voraussetzungen, die die Messtrecke des Praxisbetreuers DLR mit sich bringen und den daran angeknüpften Einschränkungen hinsichtlich des Untersuchungskonzeptes, wurden diesbezüglich geeignete Qualitätskriterien mit Hilfe eines aufgestellten Relevanzfilters herauskristallisiert. Den Abschluss des dargestellten Konzeptes bildete das Aufzeigen der komplexen Zusammenhänge und der notwendigen Ausschlüsse weiterer Einflussgrößen zur tatsächlichen Generierung des gewünschten Zusammenhangs zwischen den Qualitätskriterien und der Witterung.

6. Prototypische Implementierung ausgewählter Aspekte

6.1. *Datentechnische Infrastruktur und notwendige Vorbereitungen*

In Kapitel 5 wurden bereits die durch die Messstrecke des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt gegebenen Voraussetzungen und damit verknüpften Einschränkungen hinsichtlich einer empirischen Untersuchung kurz dargestellt. Demnach existieren Doppelinduktionsschleifen, Radar- und Video-Detektoren sowie eine Wetterstation zur Verkehrslageerfassung bzw. der Erfassung der Umweltbedingungen.

Für die im weiteren Verlauf des Kapitels durchgeführte prototypische Implementierung der empirischen Untersuchung wird auf Daten der Induktivschleifendetektoren zurückgegriffen. Dies liegt zum einen an der Menge der vorhandenen Daten, die halbwegs belastbare Ergebnisse ermöglicht. Zum Anderen ist die Datenerfassung mittels Doppelinduktivschleifen, die seit Mai 2008 im Einsatz ist, sehr stabil, sodass eine quasi lückenlose Aufzeichnung des Verkehrsgeschehens vorliegt. Ausnahmen sind temporäre Strom- oder andere Systemausfälle sowie Wartungsarbeiten, die jedoch im Messstreckenlogbuch festgehalten wurden.

Die aufgezeichneten Daten der Messstrecke werden fortlaufend in einer Datenbank abgespeichert, die folgende Tabellen beinhaltet:

- loopsYYYY (Einzelfahrzeugdaten der Schleifen für das Jahr YYYY)
- radarsYYYY (Einzelfahrzeugdaten der Radarsensoren für das Jahr YYYY)
- weatherYYYY (Wetterdaten für das Jahr YYYY)
- sensors (Zuordnung von Schleifen- und Radar-ID zu den offiziellen Sensorbezeichnungen)
- types (Zuordnung der Typ-ID zu der offiziellen Bezeichnung der Technischen Lieferbedingungen für Streckentationen (TLS)).

Die pro Fahrzeug (im Fall der Doppelinduktionsschleifen und der Radarsensoren) bzw. pro Minute (bei den Wetterdatensätzen) aufgezeichneten Daten sowie deren Auflösung beim Abspeichern in der Messstreckendatenbank können der Anlage T entnommen werden. Aus dem Datenbankmanagementsystem MySQL können die Datenbankinhalte abgefragt werden. Hierfür wurde das Programm Query Browser genutzt.

Die Verwendung des Datenbankmanagementsystems MySQL musste zunächst erlernt werden. Vorkenntnisse im Umgang mit Datenbanken und deren Managementsystemen lagen zu Beginn nicht vor. Es mussten entsprechende Kenntnisse sowohl zur Erfassung der fachlichen Struktur der Messdatenbank sowie zur Verwendung von SQL-Skripten ([MSQL04]; [MSQL05]) für die Erstellung von Abfragen im Query Browser angeeignet werden. Als Herausforderung stellte sich hierbei insbesondere der effiziente Umgang mit großen Datenmengen heraus. So existieren pro Sensor in etwa 3 Millionen Datensätze (Einzelfahrzeugdaten) – insgesamt für alle 45 Doppelinduktionsschleifen und 8 Radarsensoren sogar ca. 135 Millionen Datensätze. Selbst die Wetterstation, die nur einen Datensatz pro Minute erfasst, weist aktuell ca. 900.000 Datensätze auf.

Desweiteren mussten statistische Auswertungsprogramme zur Aufbereitung und Darstellung der Daten und der daraus generierten Ergebnisse ausgewählt werden. In Betracht gezogen wurden SPSS, MatLab sowie Excel. Aufgrund der Begrenzung der Bearbeitungszeit der Studienarbeit sowie der Vorkenntnisse hinsichtlich aller drei Programme fiel zunächst die Wahl auf MatLab oder Excel. Testweise Auswertungen kleiner Datenmengen mittels MatLab scheiterten dann jedoch an der Darstellungsform der Datensätze, die zu Beginn zur Verfügung standen. Eine Importierung der Datensätze war nicht möglich, sodass letztendlich nur noch Excel als Auswertungsinstrument verblieb. Excel bot trotz vieler Schwächen (insbesondere begrenzte Anzahl möglicher Datenzeilen sowie wenig Möglichkeiten bei der Darstellung der Auswertungsergebnisse) die Chance eines schnellen Einstiegs in die empirische Untersuchung, da gute Grundkenntnisse zur Verwendung von Excel vorlagen und sich der Umgang relativ einfach und intuitiv darstellt. Zudem war der direkte Export der durch Abfragen in MySQL erzeugten Datentabellen in Excel-Sheets möglich.

6.2. Datenaufnahme

Die Datenaufnahme bezieht sich in diesem Zusammenhang auf die im Regelkreis des operativen Verkehrsmanagements dargestellte Datenspeicherung in einer Datenbank. Um die in der Datenbank gespeicherten Daten aufzunehmen, müssen die gewünschten Daten mit Hilfe von SQL-Skripten im Query Browser abgefragt werden. Hierbei ist die Begrenzung der Ergebnismenge für die weitere Handhabung der Daten von besonderer Wichtigkeit. Aus der Begrenzung heraus ergeben sich teilweise sehr komplexe SQL-Skripte – so wird beispielsweise für die Einschränkung des Bezugsbereichs (bestimmte Schleife, zu bestimmter Zeit etc.), die Auswahl nur tatsächlich benötigter Datenelemente (nur spezielle Spalten der Datentabelle) sowie die Verknüpfung zweier Tabellen folgende komplexe SQL-Abfrage benötigt:

```
select loops2009.month, loops2009.dayofmonth,
loops2009.hour, loops2009.min, loops2009.nt,
weather2009.NSM, weather2009.NS FROM scd.weather2009 join
scd.loops2009 on (weather2009.month = loops2009.month and
weather2009.dayofmonth = loops2009.dayofmonth and
weather2009.hour = loops2009.hour and weather2009.min =
loops2009.min) where loops2009.loop=11 and
loops2009.month=11 and loops2009.dayofmonth=2 and
weather2009.month=11 and weather2009.dayofmonth=2
```

Die über diese SQL-Abfrage erzeugte Datentabelle enthält in diesem Fall die Spalten:

- Zeitstempel mit den jeweils einzelnen Spalten zu Monat (month), Tag des Monats (dayofmonth), Stunde (hour) und Minute (min),
- Nettozeitlücke (nt),
- Niederschlagsmenge (NSM),
- Niederschlag als binäre Größe (NS).

Darüber hinaus ist die Datenausgabe begrenzt auf eine bestimmte Induktionsschleife (in diesem Fall Induktionsschleife Nummer 11) sowie auf einen ganz bestimmten Tag (hier der 02.11.2009).

Weitere der, für die innerhalb dieser Arbeit durchgeführte prototypische Implementierung, erstellten und genutzten SQL-Abfragen können in Anlage U eingesehen werden.

Entsprechend der Erläuterungen in Kapitel 5 sind die für die Untersuchung erzeugten Datentabellen soweit begrenzt, dass nur Datentabellen für Dienstage erstellt wurden. Dies erfolgte jedoch für sämtliche Dienstage des Jahres 2009. Außerdem wurde die Betrachtung zunächst nur für eine einzige Induktionsschleife (Nummer 11) durchgeführt. Die Wahl der in die Betrachtung eingehenden Qualitätskriterien fiel auf die Größen Geschwindigkeit und Nettozeitlücke, die als Qualitätskriterien in Kapitel 5 als geeignet herausgefiltert werden konnten. Zudem boten sich beide Größen an, da sie direkt gemessen werden und entsprechend in den Datentabellen bereits vorhanden sind. Als Witterungseinflüsse wurden zur näheren Betrachtung die Niederschlagsmenge pro Minute (Regenstärke) und die Helligkeit gewählt. Der Datenpool, der sich unter diesen Bedingungen ergab, kann auf der der Arbeit beiliegenden CD eingesehen werden.

Zur weiteren Verwendung der so erzeugten Datentabellen wurden die Tabellen mit Hilfe einer in MySQL vorhandenen Exportierungsfunktion ins Excel-kompatible ‚[...]xls‘-Dateiformat umgewandelt.

6.3. Datenaufbereitung

Die Datenaufbereitung wurde innerhalb der erzeugten Excel-Arbeitsblätter durchgeführt. Dafür musste zunächst eine Plausibilisierung und Konsistenzprüfung der vorliegenden Ergebnisdaten erfolgen. Darüber hinaus musste der Umgang mit dem Datenmaterial hinsichtlich einer systematischen Vorgehensweise überdacht werden. Als Methoden zur Aufbereitung kamen auf Basis dieser Überlegungen die Aggregation der Daten auf 1-Minuten-Intervalle sowie die Glättung des Verlaufs über eine häufig verwendete Art der exponentiellen Mittelbildung zur Anwendung.

Die Aggregation der Daten über ein Intervall von einer Minute dient der Reduktion der Datenmenge. Dafür wird zunächst der Zeitstempel in die Minutenangabe ‚Minute des Tages‘ umgewandelt (als neue Spalte):

$$= 60 * \text{Stunde} + \text{Minute}$$

Da es mehrere Datensätze pro Minute gibt, wird eine weitere Spalte eingefügt, in der jeder Minutenwert nur einmal vorkommt (einfaches nummerieren von 0 bis zum letzten vorkommenden Minutenwert). Als nächstes erfolgt die tatsächliche Aggregation der Werte der zu aggregierenden Größe (Spalte i) - dazu bildet man den Mittelwert (Summe aller Werte in Spalte i, die zur selben Minute gehören, durch die Anzahl der in der entsprechenden Minute vorhandenen Werte) aus den in einer Minute vorhandenen Einzelwerten:

```
=SUMMEWENN(Minutenspalte; entsprechender Minutenwert; Spalte  
i) / WENN(ZÄHLENWENN(Minutenspalte; entsprechender  
Minutenwert)=0;1;ZÄHLENWENN(Minutenspalte; entsprechender  
Minutenwert))
```

Es ist an dieser Stelle zu beachten, dass fehlende Datenwerte für eine Minute mit ,0' (null) ersetzt werden.

Die Aggregation der Spalte Niederschlagsmenge würde dementsprechend wie folgt aussehen:

```
=SUMMEWENN(Minutenspalte; entsprechender Minutenwert;  
Niederschlagsmengenspalte)/WENN(ZÄHLENWENN(Minutenspalte;  
entsprechender Minutenwert)=0;1;ZÄHLENWENN(Minutenspalte;  
entsprechender Minutenwert))
```

In Bezug auf die Niederschlagsmenge ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich beim Ursprungsformat der Daten um kumulierte Werte handelt. Das heißt, dass der Sensor ausgibt, wie viel Regen seit einem bestimmten Zeitpunkt bis dato an diesem Tag insgesamt gefallen ist. Um nun genauere Aussagen darüber treffen zu können, wie viel Regen tatsächlich pro Minute gefallen ist, müssen zunächst die Differenzen zwischen den Regenanstiegen (im weiteren Regenumschaltunkte genannt) gebildet werden, sonst würde der Regenverlauf über einen betrachteten Zeitraum ansteigen, obwohl die Regenmenge pro Minute eigentlich gleich bleibend ist oder sogar die Regenstärke abnimmt bzw. gar kein Regen fällt. Realisiert wird die Differenzbildung über Nebenrechnungen. Dafür werden zunächst die Regenumschaltunkte in einer neuen Spalte bestimmt. Der erste Wert dieser Spalte wird auf null gesetzt. Alle weiteren Werte berechnen sich dann aus:

```
=WENN(UND(Wert der aggregierten, kumulierten  
Niederschlagsmenge der gleichen Zeile> Wert der  
aggregierten, kumulierten Niederschlagsmenge der  
vorhergehenden Zeile; Wert der aggregierten Spalte i der  
gleichen Zeile als Vergleichswert <>0);SUMME(Wert der  
aggregierten, kumulierten Niederschlagsmenge der gleichen  
Zeile;(-1)* Wert der aggregierten, kumulierten  
Niederschlagsmenge der vorhergehenden Zeile);0)
```

Mit einer weiteren Nebenrechnung (weitere Spalte, vor dem ersten Wert muss eine 0 eingefügt werden, d.h. eine zusätzliche Zeile ist erforderlich) wird die Berechnung der Regemenge zwischen zwei Umschaltunkten möglich:

```
=WENN(Wert der Spalte Regenumschaltunkte der gleichen  
Zeile<>0;Wert der Spalte Minuten des Tages der gleichen  
Zeile; vorhergehender Wert derselben Spalte)
```

Die Regenmenge zwischen zwei Umschaltunkten ergibt sich schließlich aus:

```
=WENN(Wert der Spalte Regenumschaltunkte der gleichen Zeile  
<>0;Wert der Spalte Nebenrechnung der gleichen Zeile - Wert  
der Spalte Nebenrechnung der vorhergehenden Zeile;"")
```

Die Regenstärke soll schließlich noch als Niederschlagsmenge je Minute berechnet werden:

```
=WENN(Wert der Spalte Regenumschaltunkte der gleichen Zeile  
<>0; Wert der Spalte Regenumschaltunkte der gleichen Zeile  
/ Wert der Spalte Regenmenge zwischen 2 Umschaltunkten der  
gleichen Zeile; vorhergehender Wert der selben Spalte)
```

Die gesamten Formeln sind in Kurzfassung mit Beispielwerten noch mal in Anlage V zusammengefasst.

Die Glättung der gemessenen Größen ermöglicht hingegen die Berücksichtigung und Erkennung bestimmter Trends und Tendenzen (fallend und steigend) im Verkehrsablauf durch Dämpfung von Messwerten. Der Grund für die Anwendung sog. Ausgleichsverfahren liegt in starken Schwankungen, denen viele Verkehrskenngrößen zum Teil unterliegen – damit über die daraus abgeleiteten Entscheidungskriterien dennoch einen Trend im Verkehrsablauf berücksichtigt werden kann, erfolgt eine entsprechende Ausgleichung (Glättung). „Den Ausgleich der originären rein zufälligen Messwerte oder Kenngrößen erreicht man durch Mittelbildung über aufeinanderfolgende Werte.“ Übliche Verfahren sind dabei die einfache arithmetische, die gleitende arithmetische sowie die exponentielle Mittelbildung. Bei der im Rahmen dieser Arbeit verwendeten exponentiellen Mittelbildung „werden die Intervallwerte unterschiedlich gewichtet; der neueste Wert erhält z.B. das größte Gewicht, während die zeitlich zurückliegenden Werte an Gewicht abnehmen.“ Auch steigende und fallende Tendenzen (z.B. in der Verkehrsstärke) können durch variable Ausgleichsfaktoren berücksichtigt werden, indem diese stets neu berechnet werden (dabei Feststellung, ob der neue gemessene Wert über oder unter dem alten Mittelwert liegt und entsprechende Zuteilung eines Gewichtungsfaktors). [FGSV91]

Die in dieser Arbeit angewandte Mittelbildung zur Glättung erfolgte entsprechend nachstehender Formel [FGSV91]:

$$\bar{w}_n = a \cdot w_n + (1 - a) \cdot \bar{w}_{n-1} \quad \text{mit} \quad 0 < a \leq 1$$

w_n = neuer Messwert

\bar{w}_{n-1} = alter Mittelwert

\bar{w}_n = neuer Mittelwert

a = Ausgleichsfaktor

In Excel besitzt diese Formel folgende Form:

`= (1-L2)*Wert aus der Spalte der aggregierten Daten
der gleichen Zeile+L2*alter Mittelwert der selben
Spalte`

Es ist zu beachten, dass vor der Berechnung der Ausgleichs- bzw. Glättungsfaktor \$L\$2 (z.B. 0,97 oder 0,99) angegeben werden muss (d.h. zusätzliche Zeile notwendig). Außerdem wird als erster Wert dieser Datenspalte der Wert derselben Zeile aus der Spalte der aggregierten Daten übernommen, da dieser als Anfangswert (entspricht dem ersten ‚alten Mittelwert‘ \bar{w}_{n-1}) fungiert.

6.4. Datenauswertung

6.4.1. Voraussetzungen

Die Voraussetzungen, unter denen die Datenauswertung in diesem Abschnitt erfolgen soll, wurden bereits in den vorherigen Abschnitten erläutert –sie sollen an dieser Stelle nochmals kurz zusammengefasst dargestellt werden:

- Es werden jeweils nur die Dienstage des Jahres 2009 betrachtet.
- Der Untersuchungszeitraum ist jeweils von 0 bis 24 Uhr.
- Es handelt sich nur um die Betrachtung der Messwerte eines Detektors (Induktionsschleife Nr. 11) – dies entspricht auf der Messstrecke des Ernst-Ruska-Ufers der rechten Fahrspur in Richtung Adlershof, d.h. es werden nur Fahrzeuge erfasst, die sich von Westen nach Osten bewegen.
- Darüber hinaus werden nur die Helligkeit sowie die Regenstärke (Niederschlagsmenge pro Minute) für die Untersuchung der Witterungseinflüsse einbezogen.
- Als Qualitätskriterien dienen bei der Untersuchung die Geschwindigkeit und die Nettozeitlücke, die beide direkt als Messwerte vorliegen.
- Verläufe sind besser erfassbar durch Glättung – daher wird auch die Glättung mittels Glättungsfaktor 0,99 einbezogen. Es muss jedoch beachtet werden, dass sich durch die Art der Glättung auch eine gewisse Verfälschung der Daten vollzieht.
- Liegen keine Messwerte zu einer Minute vor, wurden der Geschwindigkeit und der Nettozeitlücke der Wert Null zugewiesen.

6.4.2. Verkehrsaufkommen

Anhand der in den Datentabellen enthaltenen Einzelfahrzeugdaten ist es möglich, die Gesamtzahl der Fahrzeuge, die am betrachteten Tag den Messquerschnitt, d.h. die rechte Fahrspur des Ernst-Ruska-Ufers von Westen nach Osten, passiert haben, zu ermitteln. Stellt man diese Durchfahrtsmengen für jeden Dienstag über das gesamte Jahr 2009 dar, ergibt sich folgende Abbildung 31.

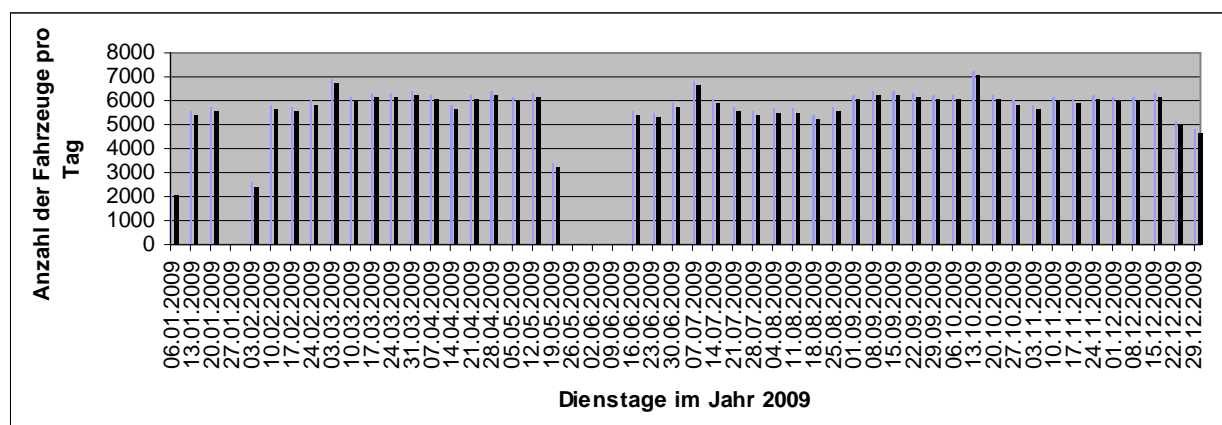


Abbildung 31: Durchfahrtsmengen für sämtliche Dienstage des Jahres 2009

Es ist gut zu erkennen, dass die Anzahl der Fahrzeuge pro Tag relativ konstant ist. Demnach fahren in etwa 5000 bis 6000 Fahrzeuge pro Tag auf der rechten der zwei vorhandenen Fahrspuren.

Auffällig sind in diesem Diagramm sieben Tage, an denen teilweise weniger als die Hälfte der sonst erfassten Fahrzeuge gezählt wurden bzw. überhaupt keine Werte vorliegen. Grund für die gänzlich fehlenden Werte ist ein Ausfall der Messwerterfassung, der an vier Tagen erfolgte. Betroffen hiervon waren folgende Dienstage: 27.01.2009, 26.05.2009, 02.06.2009 und 09.06.2009. An drei Tagen konnten Verspätungen beim Erfassungsbeginn bzw. Erfassungsabbrüche festgestellt werden:

06.01.2009: Beginn der Erfassung erst ab 15:55 Uhr

03.02.2009: Beginn der Erfassung erst ab 15:28 Uhr

19.05.2009: Abbruch der Erfassung ab ca. 15:20 Uhr

Diese sieben Tage können demnach nicht in die Bewertung einbezogen werden.

Darüber hinaus sind aus dem Verlauf der Durchfahrtsmengen pro Tag beispielsweise Ferienzeiten als Einbrüche in der Anzahl der Fahrzeuge (Ostern 06.04.2009 bis 18.04.2009, Sommerferien 15.07.2009 bis 28.08.2009, Oktoberferien 19.10.2009 bis 30.10.2009) sowie der Jahreswechsel, aber auch die Probleme, die bei der Berliner S-Bahn vor allem in der zweiten Hälfte des Jahres 2009 in etwa im Bereich Ende Juni, Anfang Juli (vor allem im Zeitraum vom 30.06.2009 bis 10.07.2009) vorlagen, erkennbar.

6.4.3. Tagesganglinien

Um nun den Grundstein für die Untersuchungen hinsichtlich der Annahmen nach einem Einfluss von Niederschlag und Helligkeit auf das Fahrverhalten zu legen, sollen zunächst, wie in Kapitel 5 erläutert, Tagesganglinien betrachtet werden. Daher werden die ausgewählten Qualitätskriterien Geschwindigkeit und Nettozeitlücke über den Minuten des Tages abgetragen, sodass sich deren Verlauf über den gesamten Tag hinweg ergibt. Ziel ist es, spezifische Muster (z.B. aufgrund von Rush Hour, Ladenschließzeiten, Theaterschließzeiten etc.) des betrachteten Streckenabschnittes zu extrahieren auf deren Basis schließlich Aussagen über zusätzliche Einflüsse ermöglicht werden sollen.

Die punktweise Darstellung der aggregierten gefahrenen Geschwindigkeiten (siehe Abbildung 32) zeigt diesbezüglich ein sehr homogenes Bild – sämtliche Dienstags-Diagramme weisen einen sehr ähnlichen Verlauf der Geschwindigkeit über den Tag auf.

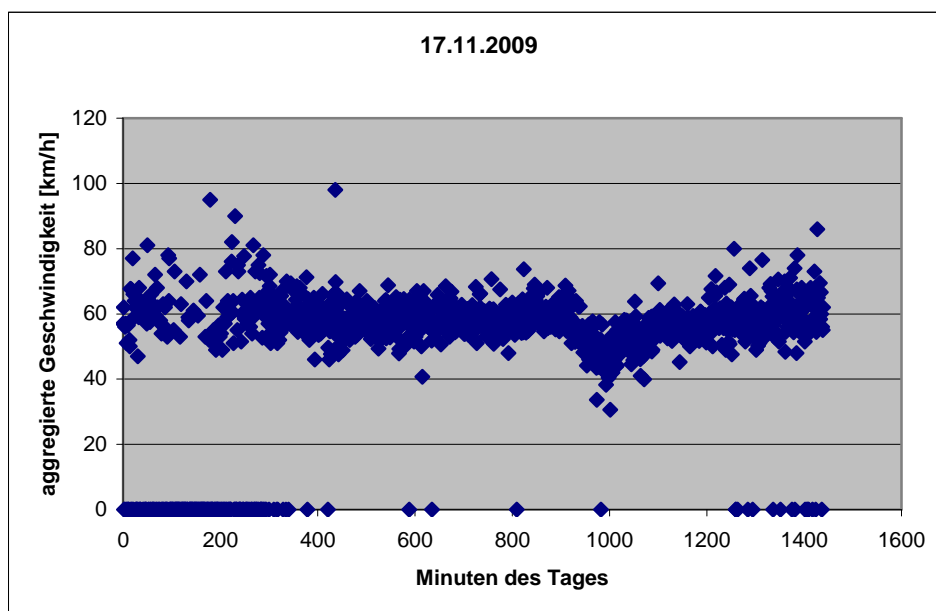


Abbildung 32: Verlauf der aggregierten Geschwindigkeit über den Minuten des Tages für Dienstag den 17.11.2009

Besonderes Augenmerk muss hier auf den Bereich von Minute 0 bis etwa 400 sowie um den Bereich von Minute 1400 gelegt werden. Es ist zu erkennen, dass in diesen Zeiten Geschwindigkeiten vom Wert Null existieren. Der Grund für diese fehlerhafte Darstellung in den Diagrammen liegt in ihren Voraussetzungen nach denen in Minuten, in denen keine Messwerte existieren Nullen eingesetzt werden – alle Geschwindigkeiten von Null gehören demnach richtigerweise nicht zu den Messwerten. Auswirkungen hat dies insbesondere im besagten Bereich von 0 bis etwa 6 Uhr (Minute 360). In dieser Zeit sind nur wenige Fahrzeuge tatsächlich unterwegs, weswegen die Minuten in denen keine Messwerte vorliegen überwiegen und somit eine Häufung der ‚Null-Geschwindigkeiten‘ zu erkennen ist. Gleichzeitig werden jedoch grad in diesem Bereich die höchsten Geschwindigkeiten detektiert – so sind in sämtlichen Diagrammen immer wieder extrem hohe Geschwindigkeiten einzelner Fahrzeuge zu diesen Zeiten feststellbar (teilweise sogar über 100 km/h), die weit über den eigentlich vorgeschriebenen 50 km/h auf dieser Strecke liegen. Eine Erklärung für dieses Phänomen ist sicherlich im Ausbau des Streckenabschnittes zu sehen, der sehr gerade ist. Zusammen mit den zwei vorhandenen Spuren und der vorhandenen Straßenbeleuchtung bietet die Fahrbahn daher eine gute Übersichtlichkeit und Erkennbarkeit, sodass bei geringem Verkehrsaufkommen selbst solche hohen Geschwindigkeiten als subjektiv sicher erscheinen.

Der Verlauf der Geschwindigkeiten über den Tag ist ansonsten relativ konstant und schwankt um den Wert von 60 km/h – selbst zu diesen Zeiten halten sich nur wenige Fahrzeuge an die vorgeschriebene Geschwindigkeit von 50 km/h innerorts.

Im Bereich von 17 Uhr bis 20 Uhr (Minute 1000 bis 1200) ist darüber hinaus eine Einbuchtung der gefahrenen Geschwindigkeiten gut wahrnehmbar. Diese Einbuchtung ist in vielen Diagrammen teilweise noch etwas stärker, teilweise aber auch schwächer ausgeprägt, kann jedoch immer wieder festgestellt werden. Es handelt sich hierbei um den Feierabendverkehr (Rush Hour), der eine erhöhte Verkehrsbelastung (bis hin zur

Staugefähr) verursacht. Es ist zu erkennen, dass die Geschwindigkeiten deutlich absinken. Die stärkere Ausprägung des Feierabendsverkehrs gegenüber dem Berufsverkehr am Morgen, der kaum wahrnehmbar ist, beruht auf der Nutzung des Ernst-Ruska-Ufers. Das Ernst-Ruska-Ufer dient insbesondere als Verbindungsstrecke zwischen den östlich davon gelegenen großen Wohngebieten (Adlershof und Köpenick) und dem Wissenschaftsstandort WISTA als großem Arbeitgeber sowie weiteren Arbeitsgebieten im Süden und Westen der Stadt, die über die Stadtautobahn, die sich westlich an das Ernst-Ruska-Ufer anschließt, am schnellsten erreichbar sind. Es ergibt sich somit vorrangig eine Nutzung der Strecke von Osten nach Westen im morgendlichen Berufsverkehr und die Nutzung von Westen nach Osten im Feierabendverkehr. Da in dieser Untersuchung zunächst das Augenmerk auf nur einen Detektor gelegt wurde, der sich auf der rechten Fahrspur, des von Westen nach Osten verlaufenden Fahrstreifens befindet, wird entsprechend vor allem der am Abend stattfindende Verkehr, in dem die Berufsfahrer vom Morgen zurück zu ihren Wohngebieten fahren, erfasst. Auch Auswirkungen des erhöhten Verkehrsaufkommens sind somit hauptsächlich zu diesen Zeiten wahrnehmbar.

Stellt man nun die geglättete Geschwindigkeit über den Minuten des Tages dar, wie in Abbildung 33 geschehen, um einen Trend ablesen zu können, tritt zum einen die Tendenz der Fahrer zur mittleren gefahrenen Geschwindigkeit von 60 km/h deutlicher hervor. Auch der Einbruch der Geschwindigkeit um die Minute 1000 aufgrund der Rush Hour ist weiterhin gut erkennbar, auch wenn dieser nicht mehr ganz so stark ausfällt wie bei den aggregierten Daten in Punktdarstellung. Die Verflachung liegt in der Wahl der Glättungsfunktion – durch die Orientierung an zurückliegenden Werten werden starke, plötzlich auftretende Einbrüche in hohem Maße geglättet. Zum Anderen bewirkt jedoch die bereits angesprochene Häufung der Null-Geschwindigkeiten zwischen Minute 0 und 400 insbesondere bei der Glättung eine starke Verfälschung. Der zu erkennende, starke Einbruch in diesem Bereich kann daher nicht vermeintlich niedrigen gefahrenen Geschwindigkeiten zugeschrieben werden, sondern beruht vielmehr auf der Einwirkung der zusätzlichen Null-Werte, die eigentlich nicht zu den tatsächlichen Messwerten gehören, jedoch von der Glättungsfunktion einbezogen werden. Die Orientierung der Glättungsfunktion an den zurückliegenden Werten bewirkt in diesem Fall die extreme Absenkung, obwohl die Geschwindigkeitswerte in dieser Zeit real im Mittel wesentlich höher liegen.

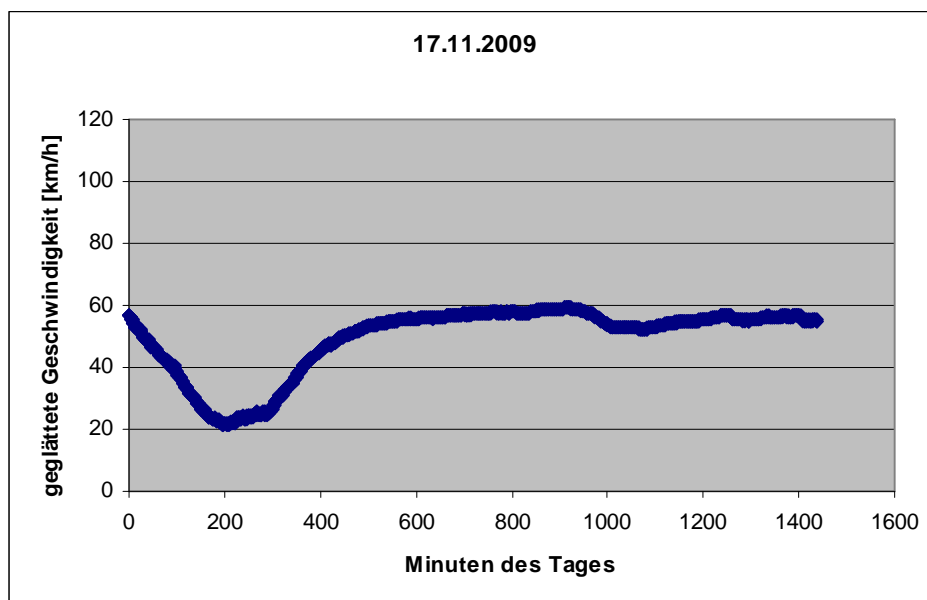


Abbildung 33: Verlauf der geglätteten Geschwindigkeit über den Minuten des Tages für Dienstag den 17.11.2009

Die punktweise Darstellung der aggregierten Nettozeitlücke über den Tag (siehe Abbildung 34) weist gegenüber der Geschwindigkeit einen sehr inhomogenen Verlauf auf - die Werte sind weit gestreut. Auch hier sind die zusätzlichen Null-Werte zu erkennen, die in die eigentliche Betrachtung nicht einbezogen werden dürfen. Darüber hinaus ist in diesem Diagramm eine Verdichtung der Messwerte im Bereich von Minute 400 bis etwa 1200 wahrnehmbar. Die eingefügte Trendlinie (gelb) verdeutlicht diese Beobachtung. In dieser Zeit schwanken die Nettozeitlücken zwischen 10 und 20 Sekunden und sind somit wesentlich niedriger als der Großteil der gemessenen Werte in den frühen Morgenstunden sowie nachts. Diese Beobachtung ist natürlicherweise mit dem Verkehrsaufkommen zu erklären. Je mehr Fahrzeuge unterwegs sind, desto geringer werden die zeitlichen Abstände zwischen der Erfassung aufeinander folgender Fahrzeuge. Dementsprechend ergeben sich für den Tag niedrigere Zeitlücken, nachts hingegen verringert sich das Verkehrsaufkommen – die Abstände werden zwischen den Detektionen werden größer. Niedrige Zeitlücken in verkehrsschwachen Zeiten erklären sich diesbezüglich aus Pulk-Ankünften aufgrund der den Messabschnitt begrenzenden Knotenpunkte mit LSA. Hohe Nettozeitlücken in Zeiten der Rush Hour entsprechen wiederum einzelnen Fahrzeugen, die z.B. aus Nebenstraßen eingebogen sind, oder auch schnell startenden, ersten Fahrzeugen an der Kreuzung, die sich daher nicht im Pulk befinden. Die darauf folgenden, detektierten Fahrzeuge besitzen dementsprechend zu diesen ersten Fahrzeugen höhere Zeitlücken als alle weiteren, dahinter im Pulk befindlichen Fahrzeuge.

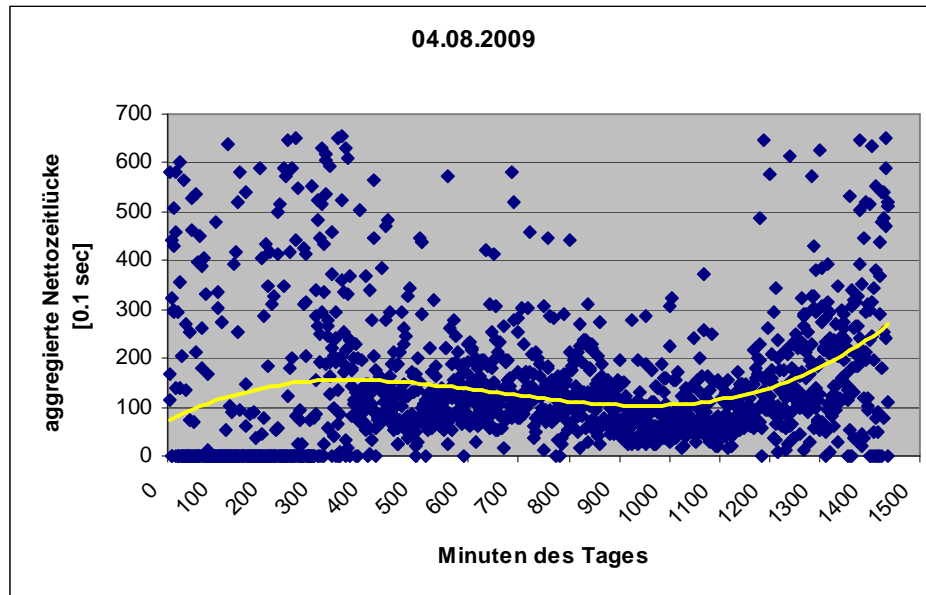


Abbildung 34: Verlauf der aggregierten Nettozeitlücke über den Minuten des Tages für Dienstag den 04.08.2009

Die Glättung des Verlaufs der Nettozeitlücken (siehe Abbildung 35) bestätigt den wahrgenommenen Trend, zeigt jedoch (unter der Anmerkung, dass wieder im Bereich von 0 bis etwa 400 Minuten eine Verfälschung durch die zusätzlichen Null-Nettozeitlücken festzustellen ist) deutlicher, dass die mittleren Nettozeitlücken ansonsten über den Tag verteilt recht konstant sind und zwischen den bereits beobachteten 10 und 20 Sekunden schwanken. Es ist jedoch darüber hinaus aus der Glättung ein Absinken der Nettozeitlücken ab Minute 400 bis etwa Minute 1100 zu erkennen. Ab Minute 1200 steigen die Nettozeitlücken hingegen wieder an. Dieser Effekt korrespondiert mit dem schon bei der Geschwindigkeitsuntersuchung festgestellten Phänomen des stärkeren Feierabendsverkehrs. Auch hier sind zwischen 17 Uhr und 20 Uhr die geringsten Nettozeitlücken, d.h. die geringsten Abstände zwischen der Erfassung der zeitlichen Abfolge aufeinander folgender Fahrzeuge, wahrnehmbar. Danach steigen die Nettozeitlücken wieder deutlich an. Es ist anzunehmen, dass sich die Nettozeitlücken in den Morgenstunden ähnlich verhalten wie in der Zeit von 20 Uhr bis 24 Uhr. Durch die Null-Zeitlücken stellen sich jedoch im Bereich von 0 Uhr bis 6 Uhr wie bereits bei den Geschwindigkeiten wieder wesentlich geringere Nettozeitlücken ein, als diese real tatsächlich vorlagen.

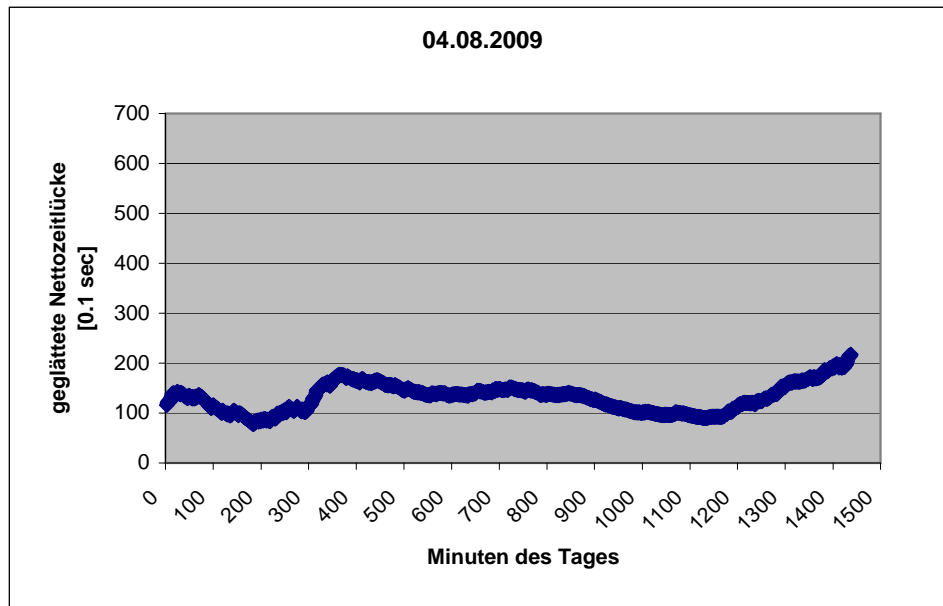


Abbildung 35: Verlauf der geglätteten Nettozeitlücke über den Minuten des Tages für Dienstag den 04.08.2009

Auch die Verläufe der Nettozeitlücken sind für sämtliche betrachtete Dienstage sehr ähnlich. Sie unterscheiden sich kaum in ihrer Ausprägung. Dies ist sicherlich auch auf die relativ konstante Menge an Fahrzeugen, wie in Kapitel 4.2 dargestellt, zurück zu führen.

Nachdem die spezifischen Muster der Tagesganglinien für die gewählten Qualitätskriterien untersucht wurden, sollen nun darauf aufbauend die Einflüsse der beiden Witterungsbedingungen Helligkeit und Regenstärke untersucht werden.

6.4.4. Einfluss der Helligkeit

Für die Betrachtung des Einflusses der Helligkeit (Sonneneinstrahlung und Dunkelheit) auf das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer wird das Kriterium Geschwindigkeit herangezogen. Auf Basis der erläuterten Tagesganglinie der aggregierten Geschwindigkeit erfolgt die Gegenüberstellung der zur gleichen Zeit gemessenen aggregierten Helligkeitswerte. Durch Übereinanderlegung der beiden Verläufe, wie in Abbildung 36 vollzogen, sollen mögliche Auswirkungen der einen Größe auf die andere ersichtlich werden. Für die Untersuchung wurden explizit Tage gewählt, an denen kein Regen detektiert wurde, um so mögliche zusätzliche externe Einflüsse weitestgehend auszuschließen.

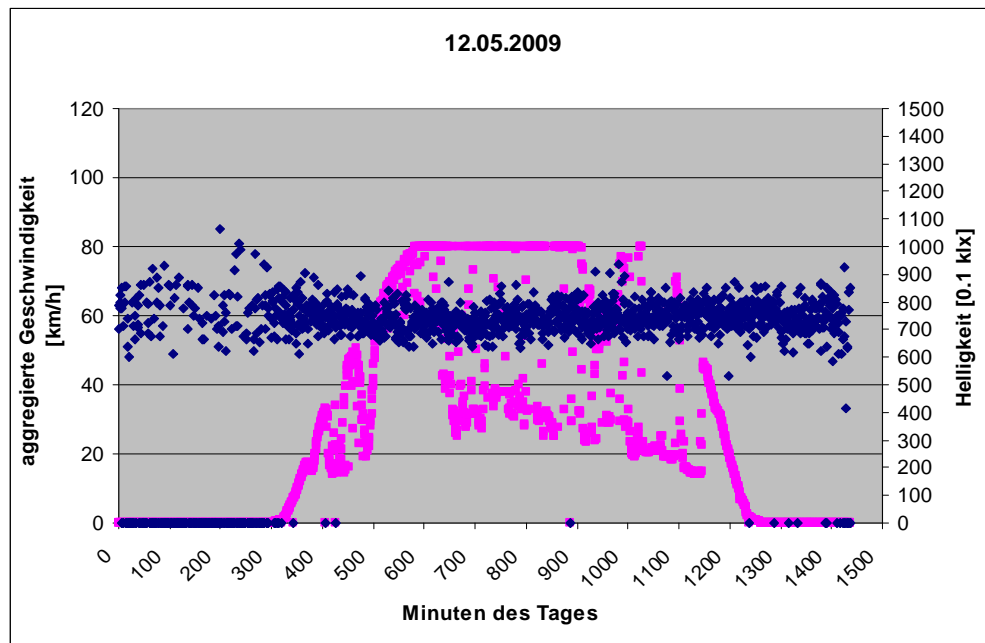


Abbildung 36: Gegenüberstellung des Verlaufs der aggregierten Geschwindigkeit und der aggregierten Helligkeit über den Minuten des Tages für Dienstag den 12.05.2009

Aus der Übereinanderlegung können jedoch keine Erkenntnisse zum Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und der Helligkeit gewonnen werden. Daher wurden zusätzlich die geglätteten Verläufe betrachtet, um einen eventuell vorliegenden Trend ableiten zu können. Diesem Glättungsdiagramm wurde darüber hinaus ein weiterer Tag (10.11.2009), an dem nur etwa die Hälfte der Helligkeit vom 12.05.2009 erreicht wurde und dessen Geschwindigkeitsverteilung annähernd identisch ist, gegenübergestellt (siehe Abbildung 37).

Auch in diesem Fall kann kein Trend hinsichtlich einer Beeinflussung der gefahrenen Geschwindigkeiten durch die Helligkeit festgestellt werden.

Im Tagesverlauf ist der Grund dafür vermutlich die Wahl der detektierten Fahrtrichtung – diese geht von Westen nach Osten, d.h. dass die Fahrer, die diese Strecke insbesondere im Feierabendverkehr nutzen, die unter Umständen blendende Sonne im Rücken haben. Die Fahrer können somit nicht geblendet werden. Befindet sich die Sonne zudem im Rücken der Fahrer wird die Fahrsituation dagegen sogar besser, da eine bessere Ausleuchtung vorliegt. Es wäre demnach sinnvoll, die andere Fahrtrichtung ebenfalls in die Betrachtung einzubeziehen bzw. eine stärkere Konzentration auf den morgendlichen Verkehr in der selben Richtung vorzunehmen, da dieser bei entsprechender Fahrt gen Osten vom Sonnenaufgang beeinträchtigt werden könnte. Dies kann jedoch aufgrund der Verfälschung durch die Null-Geschwindigkeiten im Bereich der frühen Morgenstunden in diesem Fall nicht eindeutig identifiziert werden.

Ab etwa 20 Uhr (Minute 1200) zeigt sich ein leichtes Absinken der Geschwindigkeit. Eine Einwirkung der Dunkelheit muss jedoch ausgeschlossen werden, da dieser leichte Rückgang auf die ab diesem Zeitpunkt wieder vermehrt auftretenden Null-Geschwindigkeiten aufgrund des niedrigeren Verkehrsaufkommens zurück zu führen ist. Zudem verhindert die vorhandene Straßenbeleuchtung auf der Messstrecke eine vollkommene Dunkelheit.

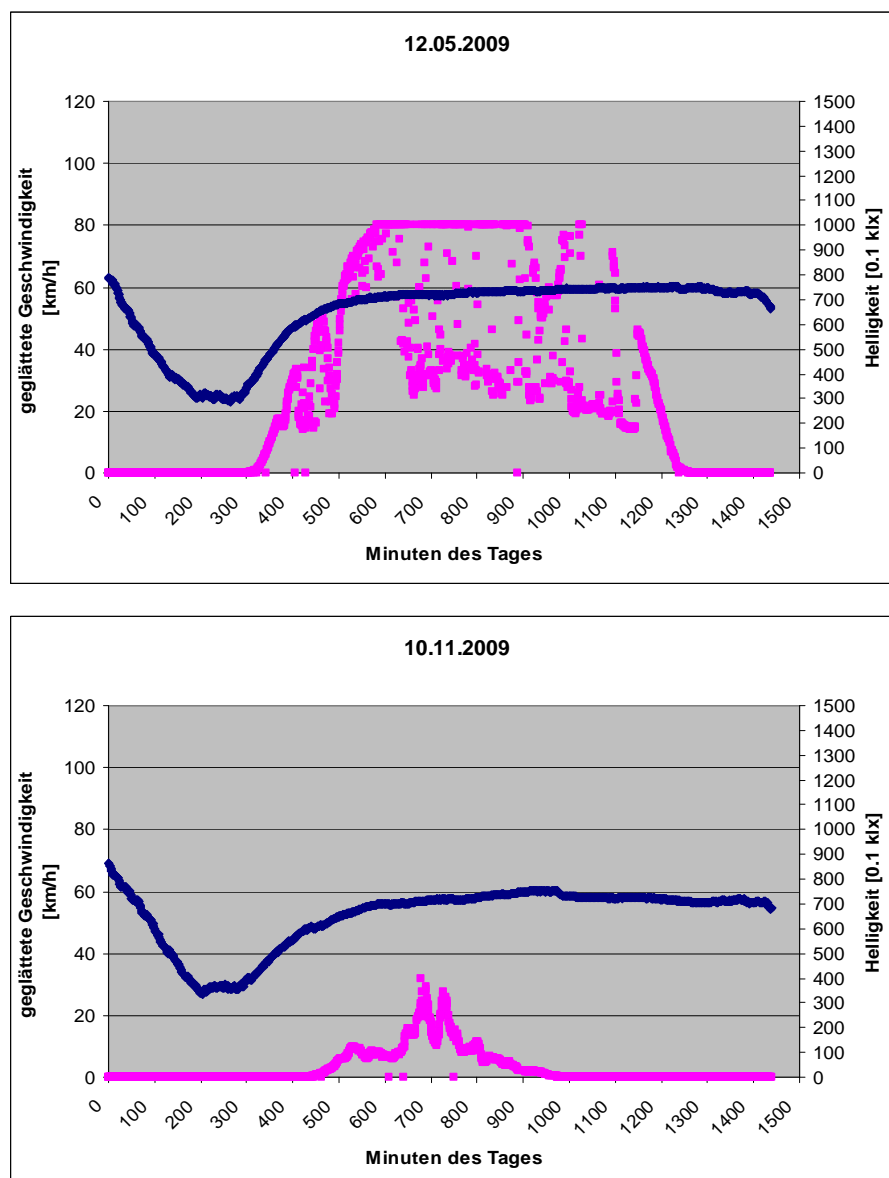


Abbildung 37: Gegenüberstellung des Verlaufs der geglätteten Geschwindigkeit und der aggregierten Helligkeit für Dienstag den 12.05.2009 und 10.11.2009

Die Gegenüberstellung von Geschwindigkeit und Helligkeit erfolgte für jeden Dienstag, an dem Messwerte vorhanden waren. Die entsprechenden Diagramme können innerhalb des Datenpools auf der beiliegenden CD eingesehen werden.

6.4.5. Einfluss der Regenstärke

Die Untersuchung des Einflusses der Regenstärke erfolgt analog zu der Betrachtung des Helligkeits-Einflusses. Als Qualitätskriterien sollen hierbei jedoch sowohl die Geschwindigkeit als auch die Nettozeitlücke dienen.

Auch in diesem Fall werden den Tagesganglinien dieser beiden Größen die zur gleichen Zeit gemessenen aggregierten Niederschlagsmengen, die für die Untersuchung jedoch als Regenmengen pro Minute (Regenstärke) aufbereitet wurden, gegenüber gestellt. Durch Übereinanderlegung der jeweiligen Verläufe sollen auch hier mögliche Auswirkungen der einen Größe auf die jeweils andere ersichtlich werden. Im Gegensatz zur Untersuchung

der Helligkeit wurden für die Untersuchung jedoch explizit Tage gewählt, an denen auch tatsächlich Regen detektiert wurde. Hierfür wurden zunächst sämtliche Dienstage, an denen es geregnet hat, über eine Datenbankabfrage (Abfrage nach jedem Datum eines Dienstages an dem NS mindestens 1 war) herausgefiltert:

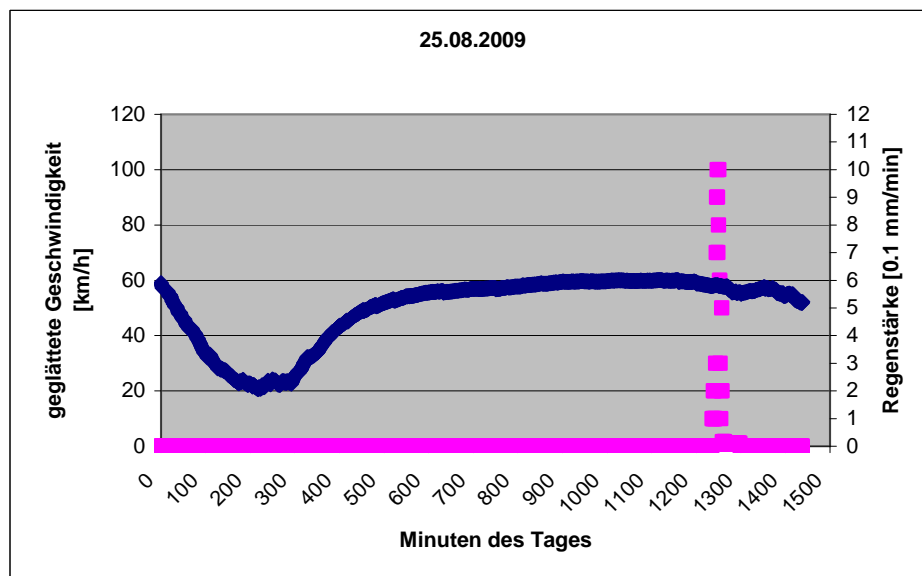
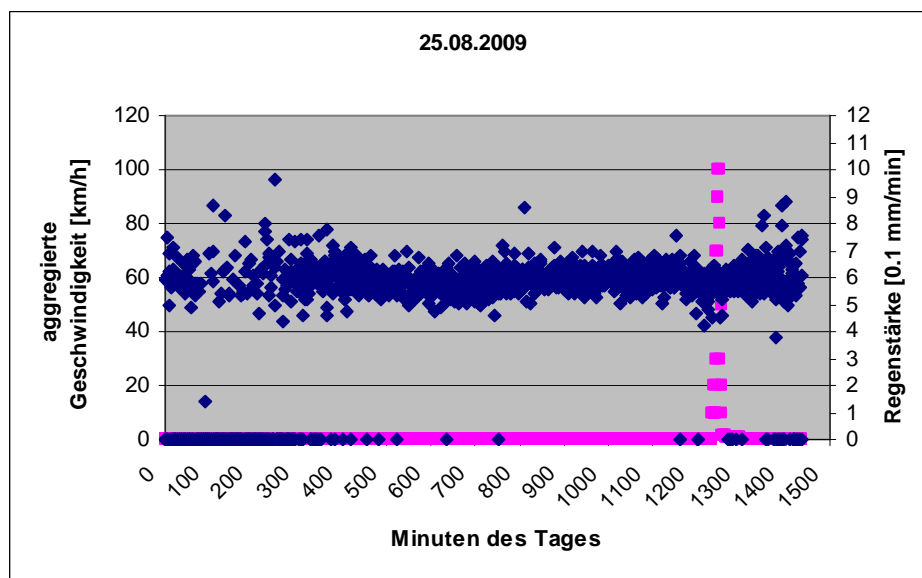
```
SELECT month, dayofmonth, count(*) FROM scd.weather2009  
where dayofweek=2 and NS=1 group by month, dayofmonth;
```

In Anlage W kann jedes so ermittelte Datum eines Dienstages mit Regen eingesehen werden. Die Dienstage, an denen es nicht geregnet hat, sind ebenfalls in einer weiteren Spalte aufgeführt.

Für die so gewonnenen möglichen Betrachtungstage wurden schließlich die entsprechenden Diagramme erstellt, die ebenfalls alle auf dem Datenpool entnommen werden können. Die im Weiteren dargestellten Diagramme stellen wie auch zuvor bereits nur eine Auswahl dar. Für eine genauere Untersuchung wurden an dieser Stelle der 25.08.2009 für die Geschwindigkeitsbetrachtung und der 30.06.2009 für die Betrachtung der Nettozeitlücke gewählt. An diesen beiden Tagen waren die höchsten Regenstärken zu verzeichnen.

Bei der Gegenüberstellung sowohl der aggregierten als auch der geglätteten Geschwindigkeit gegenüber der Regenstärke (siehe Abbildung 38) sind keine Auswirkungen erkennbar. Zum Vergleich wurde auch in diesem Fall ein Bezugstag (21.07.2009) ausgewählt. An diesem Bezugstag wurde kein Regen detektiert. Es wurde bei der Auswahl des Tages darüber hinaus darauf geachtet, dass der Verlauf der Geschwindigkeit möglichst identisch zum betrachteten Regen-Dienstag ist.

Durch das Vergleichsdiagramm wird auch deutlich, dass keine Zusammenhänge zwischen dem starken Regen, der in etwa zwischen 20 Uhr und 21 Uhr eingesetzt hat, und dem Abfallen der Geschwindigkeit innerhalb der gleichen Zeitspanne geschlossen werden können. Der Abfall der Geschwindigkeit in diesem Zeitbereich wurde bereits bei der Diskussion der Tagesganglinien erläutert - da insbesondere nach 21 Uhr die Verkehrsstärke abnimmt, kommen hier wieder vermehrt Null-Geschwindigkeiten ins Spiel, sodass die Geschwindigkeit im Mittel scheinbar geringer wird – bei der aggregierten Geschwindigkeit in Punktdarstellung kann man jedoch den Trend erkennen, dass die Geschwindigkeiten eher wieder ansteigen.



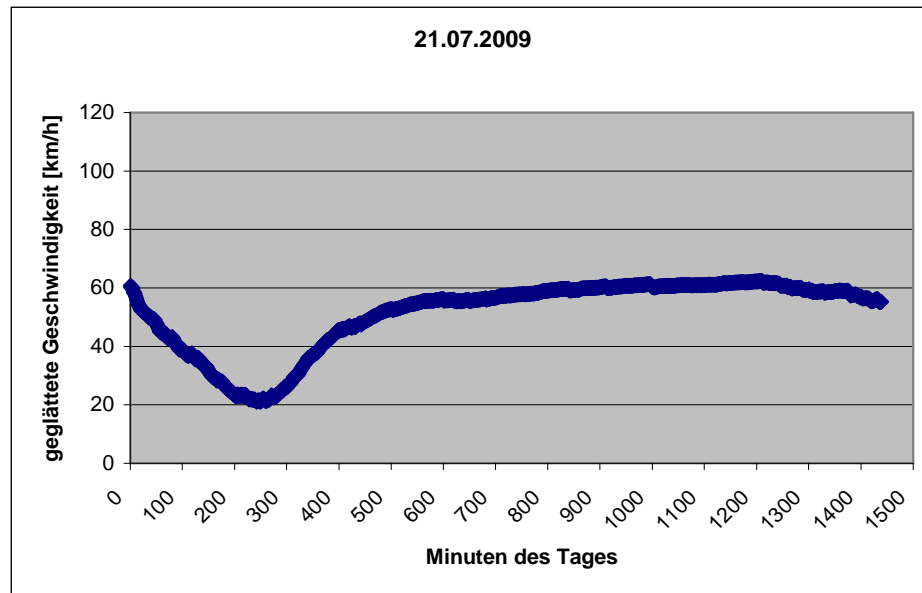


Abbildung 38: Gegenüberstellung aggregierte und geglättete Geschwindigkeit gegenüber Regenstärke für Dienstag den 25.08.2009 und 21.07.2009

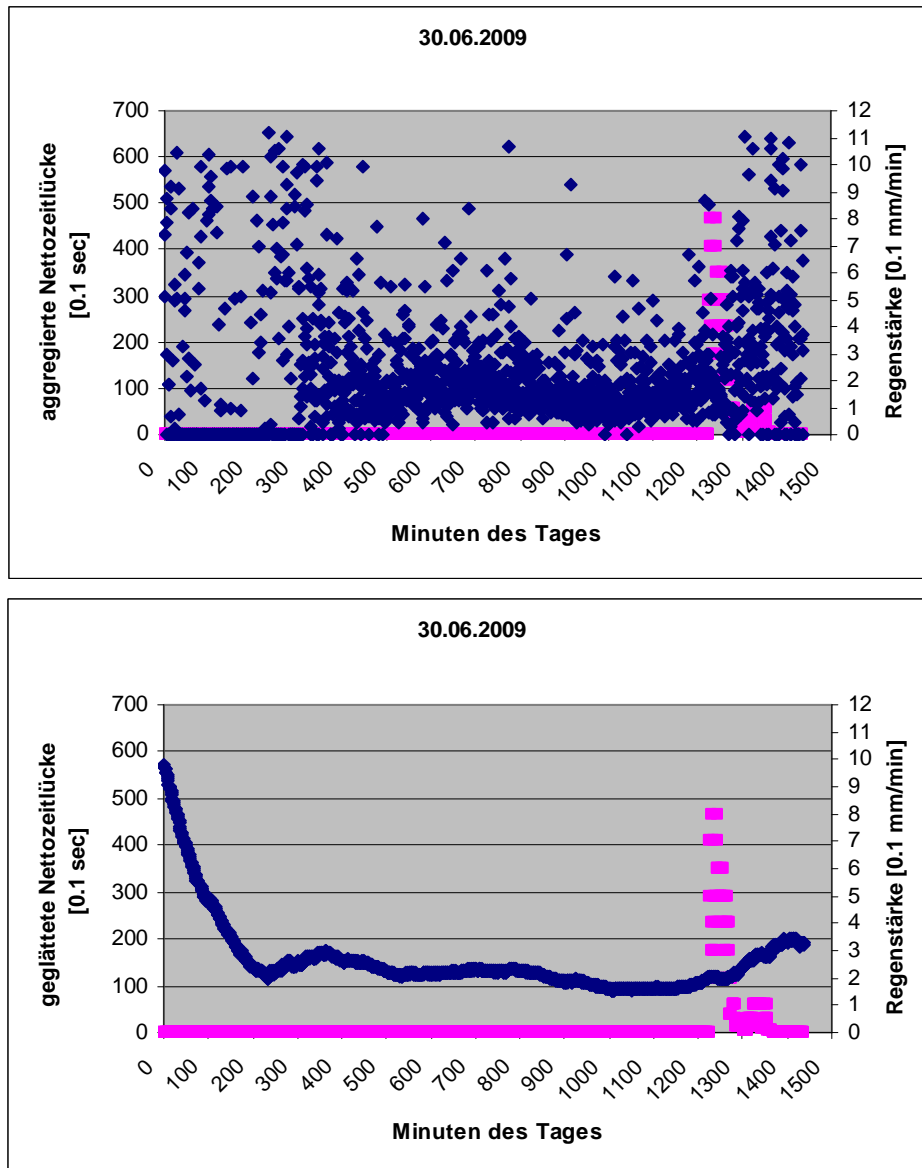
Der Grund für die fehlende Beeinflussung durch die Regenstärke könnte in der Art der Messung liegen, nach der die Niederschlagsmengen kumulativ erfasst werden. Die Aufbereitung der Daten ermöglicht zwar die Angabe einer durchschnittlichen Regenmenge je Minute, es kann jedoch nicht der genaue Zeitpunkt beispielsweise des Einsatzes von plötzlichen Regenschauern mit Starkregen ermittelt werden. Insbesondere der Beginn solchen Regens wäre jedoch von Interesse, da dieser eine plötzliche Veränderung der Fahrsituation bewirkt, an die sich die Verkehrsteilnehmer zunächst gewöhnen und ihren Fahrstil entsprechend anpassen müssen. Ein weiterer Nachteil, den die Art der Niederschlagsmessung mit sich bringt, zeigt sich in Wintermonaten. Der beim DLR genutzte Niederschlagsmesser ist nur ein Regenmesser, bei dem Niederschlag mittels eines Trichters aufgefangen und die sich in einem bestimmten Intervall ergebende Höhe der Flüssigkeitsmenge im daran angeschlossenen Röhrchen gemessen wird. Schnee kann so jedoch nicht gemessen werden, da dieser zunächst schmelzen müsste, um in das Röhrchen fließen zu können.

Eine weitere mögliche Erklärung könnte in der Menge des betrachteten Niederschlags selbst liegen. Es wurde zwar der Dienstag des Jahres mit der höchsten Regenstärke gewählt, es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass nicht an anderen Tagen innerhalb des Jahres durchaus noch höhere Regenstärken vorlagen, an denen ein Einfluss besser zu erkennen wäre.

Für die Darstellung der aggregierten sowie der geglätteten Nettozeitlücke gegenüber der Regenstärke (siehe Abbildung 39) wurde der 30.06.2009 ausgewählt. Dieser Dienstag besitzt nach dem 25.08.2009 die höchste gemessene Regenstärke. Der Regen setzte an diesem Tag zwischen 20 und 21 Uhr ein und begann somit etwa zur gleichen Zeit wie am 25.08.2009. Der Verlauf der Nettozeitlücke entspricht unter Vernachlässigung des Zeitraums von 0 bis etwa Minute 400 (Verfälschung des Verlaufs insbesondere bei geglätteter Darstellung) dem typischen Verlauf, wie er in Abschnitt 4.3 erläutert wurde. Es ist zu erkennen, dass die Nettozeitlücke ab etwa 20 Uhr (Minute 1200) nach einem

relativ konstanten Verlauf über die Tagesstunden wieder ansteigt. Die Vermutung liegt nahe, dass dieser Anstieg Folge des einsetzenden, starken Regens ist.

Betrachtet man jedoch im Vergleich dazu wiederum den 21.07.2009 als einen Tag ohne Regen, muss diese Annahme auch in diesem Fall fallen gelassen werden.



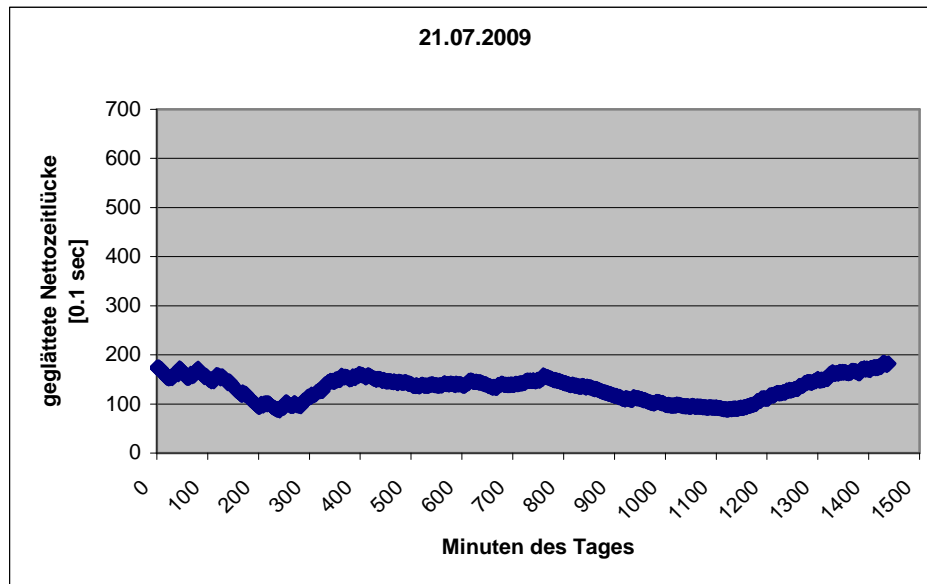


Abbildung 39: Gegenüberstellung aggregierte und geglättete Nettozeitlücke gegenüber Regenstärke für Dienstag den 30.06.2009 und 21.07.2009

Zur weiteren Überprüfung wurden in Bezug auf die Nettozeitlücke ebenfalls zusätzliche Dienstage betrachtet. Selbst aus dem Verlauf der Nettozeitlücke am 25.08.2009 konnten jedoch keine Rückschlüsse auf einen vorliegenden Einfluss der Regenstärke auf das Abstandsverhalten der Fahrzeuge gezogen werden. Der aus den Diagrammen zu entnehmende Anstieg der Nettozeitlücke im Bereich ab 20 Uhr ist sowohl an Tagen mit Regen als auch an Tagen ohne Regen in gleichem Maße festzustellen. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass auch hier der ausschlaggebende Punkt das Verkehrsaufkommen selbst ist, das zum Zeitpunkt des Niederschlags bereits abnimmt, sodass die Abstände zwischen den Fahrzeugen generell höher werden. Wie bereits bei der Untersuchung der Geschwindigkeit wurden zudem speziell Dienstage mit einsetzendem Regen innerhalb der Rush Hour (siehe Abbildung 40) herausgezogen, doch auch in diesen Fällen konnten keine Einflüsse festgestellt werden (beispielhaft sei hierfür der 10.03.2009 dargestellt).

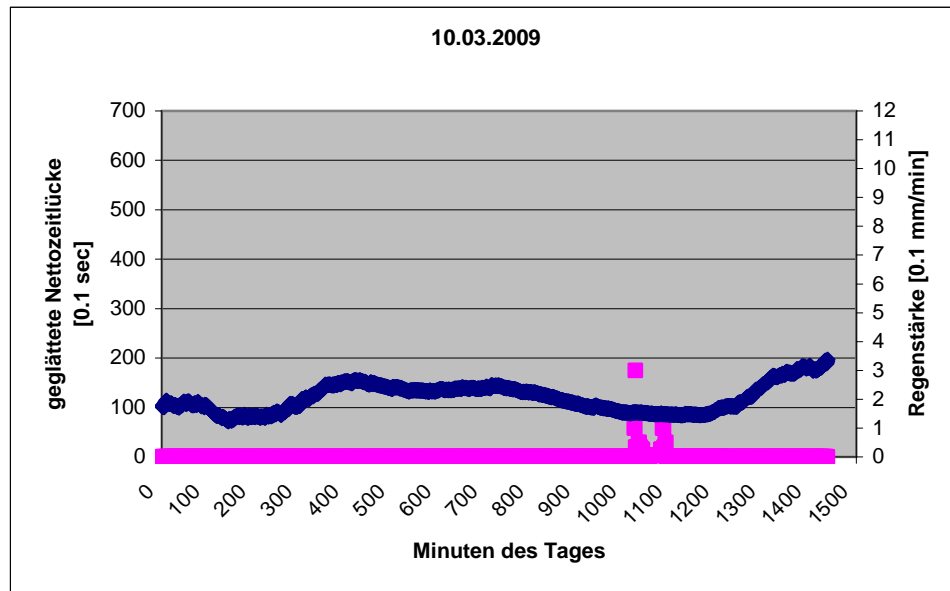


Abbildung 40: geglättete Nettozeitlücke im Vergleich zur Regenstärke bei einsetzendem Regen in der Rush Hour

6.4.6. Weitere Experimente

Neben den vorgestellten Untersuchungen wurden weitere Experimente im Hinblick auf die Identifikation möglicher Einflüsse durch die Witterung auf die zur Beschreibung des Verkehrsablaufs in innerstädtischen Verkehrsnetzen geeigneten Qualitätskriterien durchgeführt. Zu diesen Experimenten gehörten die direkte Darstellung der Geschwindigkeit über der Helligkeit sowie ebenfalls die direkten Darstellungen von Geschwindigkeit und Nettozeitlücke über der Regenstärke in jeweils einem Diagramm.

Diese Diagramme können für sämtliche Dienstage im Datenpool eingesehen werden.

Auf eine Diskussion soll an dieser Stelle jedoch verzichtet werden. Die Darstellungsform erwies sich als ungeeignet für die Identifikation von Auswirkungen witterungsbedingter Einflussfaktoren auf das betrachtete Qualitätskriterium. Sowohl die Aussagekraft als auch die Verständlichkeit dieser Diagramme ist so gering, dass von einer Verwendung abgesehen werden musste.

6.5. Erkenntnisse

6.5.1. Erkenntnisse hinsichtlich der technischen Handhabung der Daten

Der Umgang mit dem Datenbankmanagementsystem MySQL sowie auch mit dem zur Datenauswertung genutzten Programm Excel gestaltete sich äußerst aufwendig. Im Folgenden werden die während der Nutzung identifizierten Problembereiche getrennt nach den Programmen aufgezeigt.

Auffälligkeiten beim Umgang mit MySQL

Bereits bei der Phase der Datenaufnahme, d.h. bei der Erstellung von Datentabellen mittels SQL-Abfragen zeigte sich, dass die Abfragen zur Datenextrahierung aus den

vorhandenen Datenbank-Tabellen für die an die Daten gestellten Anforderungen bereits extrem komplex waren. Dabei handelte es sich bei diesen Abfragen lediglich um Verknüpfungen von nur zwei Datenbanktabellen (Verbindung zwischen der Induktionsschleifendaten- und der Wetterdatentabelle) sowie der selektiven Auswahl bestimmter Spalten (benötigte Informationen) dieser Tabellen. Dennoch bzw. auch aus diesem Grund waren die entsprechenden SQL-Abfragen so umfangreich, dass sie kaum überblickt werden konnten. Das wiederum birgt ein immenses Fehlerpotential in sich, weswegen diese Art der Abfrage daher bei steigender Datenmenge (z.B. zusätzliche Datenbanktabellen, zu denen ebenfalls Verknüpfungen erstellt werden sollen) manuell nicht mehr realisierbar wäre. Im vorliegenden Fall konnte die Aufnahme der benötigten Daten schließlich nur über eine genaue vorausgehende Konzeption der zu erstellenden Datentabellen ermöglicht werden. Diese Konzeption musste beinhalten, welche Daten tatsächlich zur Untersuchung benötigt werden (d.h. Verschlankung der Datentabellen) und welche Tabellen/Daten miteinander fusioniert werden sollten, um gewisse Zusammenhänge untersuchen zu können. Der damit verbundene Mehraufwand ist ein nicht zu unterschätzender Zeitfaktor.

Auch die Handhabung des zur Abfrage aus der Datenbank genutzten Query Browsers ist nur bedingt geeignet. Dessen Manko liegt vor allem in der Unübersichtlichkeit bei der Eingabe der Abfragen, der fehlenden Abbruchmöglichkeit (diese ist zwar theoretisch vorhanden, die Reaktion blieb jedoch aus) aber auch in den Grenzen hinsichtlich der Einbindung bestimmter SQL-Abfragen sowie von Vereinfachungen, die nicht entgegen genommen werden. Insbesondere auch eine Begrenzung der darstellbaren Datenmenge, die des Öffneren zum Absturz des Programms führte, zeigen, dass der Query Browser für die Bearbeitung solch einer großen Datenmenge nicht ausgelegt ist.

Es ist insgesamt festzustellen, dass der Aufwand zur Aufnahme der tatsächlich benötigten Daten, zu hoch ist, sodass diese Datenbank für eine fortlaufende Untersuchung dieser Art nicht geeignet erscheint.

Auffälligkeiten beim Umgang mit Excel

Wie bereits dargelegt wurde, wurde Excel trotz bekannter Schwächen bewusst zur Datenauswertung als Ausweichvariante bezüglich fehlender Kenntnisse im Umgang mit anderen statistischen Auswertungsprogrammen gewählt. Die Erkenntnisse, die sich schließlich beim Umgang ergaben, waren daher nicht überraschend, sondern stellen vielmehr eine Bestätigung dar. So mussten insbesondere lange Berechnungsdauern sowie die begrenzte Anzahl verarbeitbarer Datensätze hingenommen werden. Darüber hinaus war auch die geringe Vielfalt bei den Auswertungs- und Darstellungsmöglichkeiten bereits vorher bekannt.

Der Nachteil der begrenzten Anzahl verarbeitbarer Datensätze zeigte sich zunächst in Testuntersuchungen. Die anfänglich noch größeren Datenmengen (zunächst nicht nur Betrachtung eines Tages, sondern eines gesamten Monats) konnten zwar in Excel importiert werden, bei genauerer Betrachtung fiel jedoch auf, dass die eingelesenen Datentabellen automatisch auf die in Excel darstellbare Anzahl an Datensätzen verkürzt wurden. So entstand zunächst die fehlerhafte Annahme, dass eine große Menge an Daten fehlen würde, da in der Spalte ‚dayofmonth‘ (Tag des Monats) beim Monat November nur Werte bis 16 enthalten waren, obwohl diese Variable Werte von 1 bis 30 annehmen sollte, wie mittels einer überprüfenden SQL-Abfrage (SELECT

MAX(dayofmonth) FROM scd.loops2009 WHERE month = 11 and loops2009.loop = 12)) festgestellt werden konnte. Mit der bereits angesprochenen Verschlinkung über die SQL-Abfragen konnte dieses Problem jedoch abgefangen werden - die Erstellung von Datentabellen für einen einzigen Tag war schließlich für die Bearbeitung mit Excel am besten geeignet.

Eine weitere Herausforderung im Hinblick auf die Nutzung von Excel als Auswertungsprogramm lag in der Ermittlung der beschriebenen Aggregationen und Glättungen bestimmter Größen. Die hierfür genutzten Berechnungsformeln (siehe auch Abschnitt 3 dieses Kapitels) entsprechen Logikformeln, die sehr schnell hinreichend komplex werden können und somit ebenfalls ein erhöhtes Fehlerpotential in sich bergen. Insbesondere auch die Reaktion auf Sonderfälle, wie die zusätzlichen Nullen, die für fehlende Messwerte eingetragen wurden und die die Komplexität zusätzlich erhöhten, musste bei Erstellung der Formeln bedacht werden.

Die im Umgang mit der vorhandenen technischen Infrastruktur gewonnenen Erkenntnisse zeigen deutlich die Notwendigkeit spezialisierter Produkte (wie beispielsweise SPSS) im Bereich der Datenauswertung. Die in Excel genutzte zweidimensionale Darstellungsweise stößt schnell an ihre Grenzen. Es zeigte sich, dass die normalen zweidimensionalen Korrelationsanalysen nicht aussagekräftig genug sind. Demnach wäre es sinnvoll multidimensionale, d.h. auf mehr als nur zwei Kriterien basierende, Auswertungsverfahren einzubeziehen.

An dieser Stelle sei auch auf die Diplomarbeit von Ina Seydel [SEYD08] verwiesen. Diese beschäftigt sich mit der Anwendung der multivariaten Analyseverfahren der Clusteranalyse und der linearen Hauptkomponentenanalyse zur Untersuchung von Verkehrsdaten. Seydel zeigt darin, dass die multivariaten Verfahren für die Verkehrsdatenanalyse sehr gut zur Analyse geeignet sind, da diese Details zu Ereignissen, wie Messen oder Großveranstaltungen, und typische Tagesformen zu bestimmten Wochentagen aufdecken, die „klassischen“ univariaten Methoden (wie die Bestimmung von Mittelwert und Verteilung) verborgen bleiben.

6.5.2. Inhaltliche Erkenntnisse

Die Auswertung der Daten ergab zunächst keinen Zusammenhang zwischen den betrachteten Qualitätskriterien und zusätzlichen Witterungseinflüssen.

Die innerhalb der Untersuchung beschriebenen Verfälschungen, die aufgrund eingefügter Nullen für fehlende Messwerte entstanden sind und sich vor allem in Zeiten schwachen Verkehrsaufkommens auswirken, können weitestgehend über eine ausschnittsweise Betrachtung (z.B. nur den Zeitraum von 6 Uhr morgens bis 21 Uhr abends) eliminiert werden. Der Versuch statt Nullen, leeren Zellen für fehlende Messwerte zu nutzen, scheiterte an der in Excel eingestellten Erfassung der leeren Zellen als Null-Werte, sodass in beiden Fällen letztendlich das gleiche Ergebnis vorlag. Eine Filterung aller Null-Werte könnte ebenfalls Abhilfe schaffen.

Ungeachtet dessen zeigte sich bei der Untersuchung, dass für die Helligkeit zumindest im Rahmen dieser Betrachtungen kein eindeutiger Zusammenhang mit dem Qualitätskriterium Geschwindigkeit festgestellt werden kann. Dies könnte nun zum einen daran liegen, dass sich der Einfluss der Helligkeit im Sinne der Sonneneinstrahlung aufgrund der betrachteten Richtung nicht eindeutig erfassen lässt, zum anderen ist

vermutlich der Einfluss der Dunkelheit auf der betrachteten Messstrecke aufgrund vorhandener Ausleuchtung nicht stark genug, als dass eine Auswirkung feststellbar wäre. Es wird daher vorgeschlagen, die Untersuchung auch auf die Fahrbahn in die andere Richtung auszuweiten und dort insbesondere den Berufsverkehr in den frühen Morgenstunden zu betrachten. Zur Untersuchung der Dunkelheit wäre es hingegen sinnvoll, zusätzliche Streckenabschnitte ohne Straßenbeleuchtung im Vergleich zur Messstrecke zu betrachten.

Auch die Untersuchung des Niederschlag-Einflusses erbrachte zunächst keine Erkenntnisse hinsichtlich eines Zusammenhangs von Geschwindigkeit und Nettozeitlücke. Beide Größen besitzen zwar einen charakteristischen Verlauf - dieser ist jedoch offensichtlich unabhängig vom Niederschlag. Es wird daher empfohlen, weitere Tage des Jahres zu betrachten sowie eine Verbesserung der Sensorik hinsichtlich einer genaueren Erfassung der Niederschlagsart und -menge sowie der Anfangs- und Endzeiten anzustreben.

Eine Verbesserung der Sensorik erscheint in diesem Zusammenhang umso entscheidender, da innerhalb der gesamten Untersuchung insbesondere auch die Grenzen der Sensorik zu Tage traten. Neben einer Verbesserung der Erfassungsmöglichkeiten der bisher genutzten Verkehrsdetektoren kommen auch weitere Sensoren in Frage, die bisher kaum bzw. gar nicht genutzt werden. In Bezug auf die Erfassung von Witterungseinflüssen existiert in diesem Kontext bereits eine Vielzahl möglicher Sensoren, wie in Kapitel 4.3.3 dargelegt wurde. Einige der dort vorgestellten Detektoren kommen durchaus bereits im Bereich von Tunneln zur Anwendung – eine Übertragung auf freie Streckenabschnitte wäre jedoch ebenfalls denkbar. Des Weiteren muss auch die Art der Detektion berücksichtigt werden - die querschnittsbezogene Detektion, die in dieser Untersuchung aufgrund der vorliegenden Infrastruktur genutzt wurde, ist nicht in der Lage die Individualität eines einzelnen Verkehrsteilnehmers, die sich beispielsweise im Abstandsverhalten widerspiegelt, zu erfassen. Anhaltspunkte für den Einfluss von Witterungseinflüssen wie einsetzendem Regen, Dunkelheit oder auch Blendwirkungen aufgrund von Sonneneinstrahlung auf das Abstandsverhalten sowie gefahrene Geschwindigkeiten könnten sich demnach eher mittels fahrzeugbezogener Erfassungseinrichtungen ergeben. Insbesondere Floating Car Data erscheinen in diesem Zusammenhang geeignet – neben der fahrzeuginternen Geschwindigkeitsmessung können über optische oder Radarsensoren der Abstand sowie die Relativgeschwindigkeit zum vorausfahrenden oder nachfolgenden Fahrzeug gemessen werden.

Fazit ist, dass die querschnittsbezogene Verkehrsdetektion zur Erfassung der Auswirkung von Witterungseinflüssen nicht geeignet ist. Es wird daher empfohlen, zusätzlich fahrzeugbezogene Messungen durchzuführen, um Effekte auf das Fahrverhalten anhand individueller Reaktionen eindeutig identifizieren zu können.

7. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit stellt gängige Standardwerke zur qualitativen Beschreibung des Verkehrsablaufs in innerstädtischen Gebieten vor und arbeitet die darin enthaltenen Qualitätskriterien im Hinblick auf eine mögliche Verwendung im Rahmen des operativen Verkehrsmanagements heraus. Über die Darstellung der im Verkehrsgeschehen vorhandenen Rahmenbedingungen zeigt diese Arbeit die Komplexität der Qualitätsbewertung auf. Die darauf aufbauende Annahme einer Korrelation zwischen Qualitätskriterien und externen Einflussgrößen wird anschließend anhand einer Konzeption zur statistischen Auswertung dieser Hypothese mittels einer prototypischen Implementierung ausgewählter Aspekte empirisch untersucht.

Die zentrale Frage, die sich daraus ergibt, ist demnach, ob die gängigen Qualitätskriterien in der Lage sind, weitere Einflüsse auf das Verkehrsgeschehen neben der Verkehrsstärke darzustellen.

Um dieser Frage nachzugehen, wurden zunächst in Kapitel 2 die Grundlagen zum Verkehrsablauf in städtischen Netzen sowie zum Verständnis der Begriffe Qualität sowie daran anschließend Verkehrsqualität dargelegt. Es konnte damit gezeigt werden, dass insbesondere der Verkehrsablauf im Stadtgebiet aufgrund der Vielfältigkeit der verschiedenen vorhandenen Verkehrsanlagen eine Herausforderung für dessen qualitative Bewertung darstellt.

In Kapitel 3 wurden schließlich ausführlich die für die Bewertung des Verkehrsablaufs an innerstädtischen Verkehrsanlagen vorliegenden Bewertungsverfahren aus gängigen Standardwerken, aber auch anhand neuer Trends und dem Vorgehen in der Praxis erläutert. Der Fokus wurde dabei auf die Erarbeitung der dort verwendeten Qualitätskriterien gelegt, sodass Aussagen über deren Einsatzmöglichkeiten innerhalb des operativen Verkehrsmanagements abgeleitet werden konnten. Eine Zusammenfassung dieser Kriterien in Tabellenform mit der Aufschlüsselung der Vor- und Nachteile für deren Verwendung komplettiert diese theoretische Analyse. Die umfangreiche Recherche der möglichen Ansätze zur Bewertung der Verkehrsqualität konnte insbesondere eine starke Überlappung der verschiedenen Verfahren aufdecken. Darüber hinaus zeigte sich, dass diese gängigen Standardwerke primär im Kontext der Verkehrsplanung zur Anwendung kommen. Sie dienen dementsprechend vorrangig der Dimensionierung von Verkehrsanlagen und ermöglichen somit im Vorfeld eine Aussage über die in den meisten Fällen vorliegende Qualität auf der entsprechend geplanten Verkehrsanlage. Im Bereich des operativen Verkehrsmanagements stoßen sie jedoch an ihre Grenzen.

Daran anschließend stellt Kapitel 4 die Rahmenbedingungen des Verkehrsablaufs als System verschiedener Einzelkomponenten dar, deren jeweilige Wirkungen sowohl direkt auf das Verkehrsgeschehen Einfluss nehmen als auch indirekt mit den anderen Komponenten in Wechselbeziehungen stehen und sich daher auch gegenseitig beeinflussen. Zur Identifikation der Komplexität der Einzelkomponenten des innerstädtischen Verkehrsgeschehens erfolgte eine strukturierte Auswertung der Bewertungsverfahren unter Berücksichtigung eines empirischen Erfahrungshintergrundes. Es ergab sich eine Klassifizierung der Rahmenbedingungen nach Verkehrsnachfrage, Verkehrsteilnehmer (als individuelle Persönlichkeit), Witterungseinflüsse, Wechselwirkungen mit anderen Verkehrsteilnehmern (als

Fahrerkollektiv), Verkehrssteuerung, Infrastruktur und Verkehrssicherheit. Anhand einer umfangreichen Quellenauswertung konnten generelle Auswirkungen der einzelnen Komponenten belegt sowie in einigen Fällen bereits deren Einflussstärken aufgezeigt werden. Darüber hinaus stellt Kapitel 4 den Bereich der Verkehrserfassung (Sensorik) in einem eigenständigen Abschnitt (Kapitel 4.3) dar, um dessen besondere Rolle im Hinblick auf die anhand der detektierten Verkehrsdaten möglichen ableitbaren Aussagen zur Verkehrsqualität herauszustreichen. So zeigt sich dort, dass die vorhandenen Verkehrsdetektoren zum einen selbst eine qualitativ hochwertige Datenerfassung realisieren müssen, zum anderen messtechnische Einflussgrößen wie die Lage der Erfassungseinrichtung die Ergebnisse entscheidend beeinflussen.

Nachdem in Kapitel 3 und 4 die möglichen Qualitätskriterien zur Beschreibung des Verkehrsablaufs und die den Verkehrsablauf bestimmenden Rahmenbedingungen theoretisch analysiert wurden, erfolgte schließlich in Kapitel 5 die Konzeption einer statistischen Auswertung, um der Frage nach der Darstellungsmöglichkeit der Einflussgrößen durch die gängigen Qualitätskriterien auch im praxisorientierten Umfeld nachzugehen. Zur Untersuchung der Korrelation zwischen Qualitätskriterien und Einflussgrößen wurde der Bezugsbereich zunächst auf spezielle Qualitätskriterien eingeschränkt. Eine erste Selektion der Qualitätskriterien erfolgte über die Entwicklung eines Relevanzfilters, der die Kriterien über die Filterstufen der Eignung für das operative Verkehrsmanagement, der Möglichkeit zur messtechnischen Erfassung bzw. Berechnung sowie der Erfassung witterungsbedingter Auswirkungen filterte. Es zeigte sich, dass nur eine Handvoll der Kriterien tatsächlich alle Filterstufen passieren konnte. Im Anschluss wurden die für eine Implementierung des Ansatzes notwendigen Schritte zur Aussagengenerierung dargelegt.

In Kapitel 6 erfolgte darauf aufbauend eine erste prototypische Implementierung der vorgestellten Konzeption. Hierfür wurden exemplarisch zwei Qualitätskriterien (Geschwindigkeit und Nettozeitlücke) aus den gefilterten Kriterien ausgewählt und mit ebenfalls zwei exemplarisch ausgewählten Witterungseinflüssen (Helligkeit und Niederschlagsstärke) im Hinblick auf mögliche Zusammenhänge verglichen. Die empirische Untersuchung erfolgte anhand umfangreicher, realer Datenmengen. Insgesamt wurden Daten über das gesamte Jahr 2009 hinweg ausgewertet. Der Umgang mit den großen Datenmengen erwies sich als äußerst schwierig und aufwändig. So nahm insbesondere die Aufbereitung der Daten als Voraussetzung für die statistische Auswertung viel Zeit in Anspruch. Auch die Ableitung relevanter Aussagen stellte sich problematisch dar. Als Ergebnis der empirischen Untersuchung muss vorerst die Erkenntnis gelten, dass aus dem vorliegenden Datenmaterial kein Zusammenhang zwischen den untersuchten Qualitätskriterien und den zusätzlich auf den Verkehrsfluss wirkenden Einflussgrößen festzustellen ist. Es wird daher empfohlen weitere Daten sowie andere Auswertungsverfahren, die vor allem auch eine mehrdimensionale Auswertung ermöglichen, zu Rate zu ziehen, da die Hypothese der Korrelation zwischen beiden Größen über das Ergebnis weder ausgeschlossen noch eindeutig bestätigt werden kann. Von besonderer Bedeutung wird auch die Nutzung weiterer Sensoren angesehen. So erscheint die Erfassung mittels fahrzeugbezogener Messungen gewinnbringend, um Effekte witterungsbedingter Einflussgrößen auf das Fahrverhalten im Stadtverkehr anhand individueller Reaktionen einzelner Verkehrsteilnehmer eindeutig identifizieren zu können.

Mit der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Bewertung der Verkehrsqualität auf keinen Fall eindimensional erfolgen kann. Vielfältige Einflüsse wirken sich als Gesamtkomplex aus, sodass die Bewertung des Verkehrsgeschehens auch in Zukunft trotz der großen Anzahl vorhandener Bewertungsverfahren weiterhin eine Herausforderung darstellen wird. Da zusätzliche Einflussfaktoren in den bisherigen Ansätzen nur in geringem Maße bzw. gar nicht berücksichtigt werden, erscheint deren Untersuchung in weiteren Arbeiten sinnvoll, um die Genauigkeit der zugrunde liegenden Bewertungsmodelle weiter zu erhöhen und somit deren Aussagekraft zu steigern. Forschungsschwerpunkte sind diesbezüglich auch in der Weiterentwicklung der Auswertungsverfahren zu sehen, die es ermöglichen müssen, neben den Auswirkungen der Verkehrsstärke, auch weitere geringere Wirkungen externer Einflussfaktoren zu erkennen. Die Erkennung solcher Einflussgrößen ist auch für das operative Verkehrsmanagement von großer Bedeutung. Sinn und Zweck des operativen Verkehrsmanagements liegt vor allem in der Echtzeitreaktion auf vorliegende Verkehrszustände – je genauer die Situation erfasst und entsprechend bewertet werden kann, desto passfähiger kann auch die Reaktion ausfallen. Es fällt jedoch auf, dass in der Realität beispielsweise Empfehlungen bei zusätzlichen Einflüssen wie Regen oder auch Eisglätte oftmals nicht zutreffend sind. So wird auf Stadtautobahnen an Tagen mit Eisglättegefahr oftmals die Geschwindigkeit von 80 km/h auf 60 km/h herabgesetzt, obwohl die Straße vollkommen frei und der Straßenbelag offensichtlich trocken und nicht glatt ist. Der Verkehrsteilnehmer wiederum verliert das Vertrauen in das System, das augenscheinlich nicht in der Lage ist, die tatsächliche Verkehrssituation richtig einzuschätzen. Um diesem Vertrauensverlust und der damit einhergehenden Missachtung entgegen zu steuern, ist es demnach von immenser Wichtigkeit die Modelle zur Bewertung des Verkehrsgeschehens zu optimieren und zusätzliche Einflüsse besser einzuschätzen. Auch in diesem Fall könnte eine fahrzeugbezogene Detektion Abhilfe schaffen, um die vorliegende Verkehrssituation punktuell und ortsbezogen genauer bestimmen zu können.

Kritikpunkte an der Arbeit liegen insbesondere im Bereich von Kapitel 3. Die Ausarbeitung der theoretischen Analyse der Bewertungsverfahren erfolgte zu umfangreich für den im Rahmen einer Studienarbeit vorgegeben Zeithorizont und nimmt dementsprechend den Schwerpunkt der Arbeit ein. Die empirische Untersuchung, die praxisrelevante Aussagen bringen könnte, konnte daher nur prototypisch dargestellt werden. Ziel wird es demnach in weiteren Arbeiten sein, diese Untersuchungen weiter auszubauen, um tatsächlich Erkenntnisse zum Zusammenhang zwischen Qualitätskriterien und Einflussgrößen generieren zu können, die dann wiederum in die Entwicklung neuartiger Verfahren zur Bewertung der Verkehrsqualität unter Einbezug wirkender Rahmenbedingungen einfließen können.

Quellenverzeichnis

Literatur-Recherche

- [ABAU08]** Baumann, A.: „Vergleichende Bewertung unterschiedlicher Detektorarten im Straßenverkehr“, Diplomarbeit, TU-Darmstadt, Darmstadt, Januar 2008
- [BASE05]** Baselau, C.: „Entwicklung eines Verfahrens zur Beurteilung der Verkehrsqualität auf Straßen mit 2+1-Verkehrsführung“, Dissertation, Fakultät Bauingenieurwesen, Bauhaus-Universität Weimar, Weimar, Mai 2005
- [BAST01]** Bundesanstalt für Straßenwesen: „Ermittlung und Bewertung der Nutzenkomponenten von Streckenbeeinflussungsanlagen im Hinblick auf den Verkehrsablauf. Schlussbericht“, Forschungsbericht des FE 03.326/1999/IGB, Stuttgart, 2001
- [BAST03]** Brilon, W.; Miltner, T.: „Verkehrsqualität unterschiedlicher Verkehrsteilnehmerarten an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage“, Schriftenreihe ‚Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen‘, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 100, Bergisch Gladbach, Februar 2003
- [BAST03]** Baier, M.M.; Baier, R.: „Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen“, Schriftenreihe ‚Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen‘, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 108, Bergisch Gladbach, November 2003
- [BAST09]** Lank, C.; Sümmermann, A.; Steinauer, B.; et al.: „Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen“, aus Schriftenreihe ‚Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen‘, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 183, Bergisch Gladbach, Juni 2009
- [BOCK79]** Bock, H.; Köppel, G.: „Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Kurvigkeit“, aus Schriftenreihe ‚Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik‘, Heft 269, Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, 1979
- [BOHO06]** Bosserhoff, D.; Hofmann, D.: „Leistungsbeschreibung: Kosten-Nutzen-Untersuchung für Qualitätssicherungsmaßnahmen an LSA“, Projektgruppe Qualitätssicherung an LSA, Wiesbaden/Schotten, 2006
- [BOLT05]** Boltze, M.: „Qualitätsmanagement im Stadtverkehr – Neue Wege zu einer effizienteren Verkehrssteuerung“, aus Zeitschriftenreihe ‚Straßenverkehrstechnik‘, Heft 2.2005, Seite 61 ff., Kirschbaum-Verlag, Februar 2005

- [CAME96]** Cameron, P.E.: „An Expanded LOS Graduation System“, ITE Journal, Heft 1/1996, Seite 40 f., 1996
- [DSEN02]** Deutsches Institut für Normung e.V.: „Transport – Logistik und Dienstleistungen – Öffentlicher Personenverkehr; Definition, Festlegung von Leistungszielen und Messung der Servicequalität (EN 13816:2002)“, Norm, Beuth-Verlag, Berlin, 2002
- [FGSV00]** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Begriffsbestimmungen, Teil: Verkehrsplanung, Straßenentwurf und Straßenbetrieb“, Ausgabe 2000, S. 34, Köln, 2000
- [FGSV01]** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): „Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)“, Ausgabe 2001, Köln, 2001
- [FGSV05]** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Hinweise zum Fundamentaldiagramm, Grundlagen und Anwendungen“, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit, Köln, Ausgabe 2005
- [FGSV08]** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN)“, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, Köln, Ausgabe 2008
- [FGSV91]** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Merkblatt über Detektoren für den Straßenverkehr“, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit, Köln, Ausgabe 1991
- [FGSV92]** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA), Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr“, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit, Köln, Ausgabe 1992
- [FGSV97]** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Entwurf: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS), Aktualisierung der RAS-W 86“, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, Köln, Ausgabe 1997
- [FGSV98]** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Leitfaden für das Qualitätsmanagement im Straßenbau, Teil: Planungsleistungen“, Köln, 1998
- [FSST04]** Steyer, R.; Feser, B.; Knelangen, F.-J.: „Qualität von Daten im Straßen- und Verkehrswesen“, aus Schriftenreihe ‚Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik‘, Heft 904, Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Bonn, November 2004
- [FSST04]** Nehren, U.; Stöcker, K.; et al.: „Grundlagen einer Differenzierung der RAS-N, Teil Stadtregionen“, aus Schriftenreihe ‚Forschung Straßenbau und

Straßenverkehrstechnik', Heft 874, Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Bonn, Januar 2004

- [FSST07]** Friedrich, B.; Priemer, C.: „Auswirkungen von Überlastungen an Einzelanlagen des Straßenverkehrs auf die Verbindungsqualität in Straßennetzen“, aus Schriftenreihe ‚Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik‘, Heft 982, Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Bonn, Dezember 2007
- [FSST08]** Brilon, W.; Estel, A.: „Differenzierte Bewertung der Qualitätsstufen im HBS im Bereich der Überlastung“, aus Schriftenreihe ‚Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik‘, Heft 999, Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Bonn, Juli 2008
- [FSST09]** Lippold, C.; Schulz, R.; et al.: „Einfluss der Straßenseitenraumbepflanzung auf Fahrverhalten und Verkehrssicherheit“, aus Schriftenreihe ‚Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik‘, Heft 1018, Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Bonn, Mai 2009
- [FSST94]** Bundesministerium Verkehr, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik: „Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufs auf Straßen“, aus Schriftenreihe ‚Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik‘, Heft 669, Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bonn, 1994
- [FSST95]** Ponzlet, M.: „Auswirkungen von zeitlich veränderlichen Leistungsfähigkeiten“, aus Schriftenreihe ‚Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik‘, Heft 718, Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Bonn, November 1995
- [HAMM08]** Hammerschmidt, A.: „Einfluss ausgewählter Entwurfsparameter auf das Unfallgeschehen“, Studienarbeit, Lehrstuhl Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen, TU-Dresden, Dresden, 2008
- [HCMA00]** Transportation Research Board: „Highway Capacity Manual“, Special Report 109, United States of America, Washington D.C., 2000

- [ISOS05]** Deutsches Institut für Normung e.V.: „Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe (DIN EN ISO 9000:2005)“, Norm, Beuth-Verlag, Berlin, 2005
- [KERN00]** Kerner, B.: „Theory of breakdown Phenomenon at Highway Bottlenecks“, Transportation Research Board, Paper No. 00-1573, 79th Annual Meeting, Washington D.C., 2000
- [KIKE01]** Kim, Y.; Keller, H.: „Zur Dynamik zwischen Verkehrszuständen im Fundamentaldiagramm“, aus Zeitschriftenreihe ‚Straßenverkehrstechnik‘, Heft 9.2001, Seite 433 ff., Kirschbaum-Verlag, September 2001
- [KOB07]** Kobbeloer, D.: „Dezentrale Steuerung von Lichtsignalanlagen in urbanen Verkehrsnetzen“, Dissertation, Institut für Verkehrswesen, Universität Kassel, Kassel, Juli 2007
- [LEHN05]** Lehnhoff, N.: „Überprüfung und Verbesserung der Qualität von automatisch erhobenen Daten an Lichtsignalanlagen“, Dissertation, Fakultät Bauingenieurwesen und Geodäsie, Universität Hannover, Hannover, 2005
- [LEUZ89]** Leutzbach, W.; Zoellmer, J.: „Zusammenhang zwischen der Verkehrssicherheit und den Elementen des Straßenentwurfs“, aus Schriftenreihe ‚Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik‘, Heft 545, Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, 1989
- [LIPP05]** Lippold, C.; Krüger, H.P.; et al.: „Orientierungssichtweite – Definition und Beurteilung“, aus Schriftenreihe ‚Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik‘, Heft 977, Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, Bonn, 2005
- [LIPP97]** Lippold, C.: „Weiterentwicklung ausgewählter Entwurfsgrundlagen von Landstraßen“, Dissertation, TH-Darmstadt, Darmstadt, 1997
- [LIWI55]** Lighthill, M.J.; Whitham, G.A.: „On Kinematic Waves, Part II. A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Roads“, Proceedings Royal Society of London, Vol. 229 A, Nr. 1178, Seite 317 ff., Great Britain, London, 1955
- [MARZ99]** Bund/Länder-Arbeitskreis unter Leitung der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): „Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ 99)“, Ausgabe 1999
- [MSQL04]** Gennick, J.: „SQL – kurz & gut“, O'Reillys Verlag, 1. Auflage 2004, Köln, 2004
- [MSQL05]** Buchmann, A.; Smolarek, R.: „SQL – MySQL 5, interaktiv“, dpunkt-Verlag, 1. Auflage 2005, Heidelberg, 2005
- [NORM08]** Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS:

„Schweizer Norm SN 640 023a: Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit – Knoten mit Lichtsignalanlage“, VSS-Fachkommission Verkehrstechnik; VSS-Expertenkommission Leistungsfähigkeit, Schweiz, Zürich, Februar 2008

- [NORM98]** Vereinigung Schweizerischer Straßenfachleute VSS: „Schweizer Norm SN 640 017a: Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit – Grundlagennorm“, VSS-Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, Schweiz, Zürich, Dezember 1998
- [NORM99]** Vereinigung Schweizerischer Straßenfachleute VSS: „Schweizer Norm SN 640 022: Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit – Knoten ohne Lichtsignalanlage“, VSS-Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, Schweiz, Zürich, Mai 1999
- [NORM99]** Vereinigung Schweizerischer Straßenfachleute VSS: „Schweizer Norm SN 640 020: Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit – Hauptverkehrs- und Verbindungsstraßen“, VSS-Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, Schweiz, Zürich, Juni 1999
- [PISC03]** Pischner, T.; et al.: „Ermittlung und Bewertung der Nutzenkomponenten von Streckenbeeinflussungsanlagen im Hinblick auf den Verkehrsablauf“, aus Schriftenreihe ‚Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik‘, Heft 866, Forschungsberichte des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, 2003
- [SCH101]** Schick, P.; Kühne, R.D.: „Untersuchungen zum Verkehrsablauf an Streckenbeeinflussungsanlagen“, Veröffentlichungen aus dem Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Heft 28, Universität Stuttgart, Stuttgart, 2001
- [SCHL09]** Schlag, B.: „Verkehrspsychologie“, Skript zur Lehrveranstaltung im Hauptstudium, Sommersemester 2009, TU-Dresden, Dresden, 2009
- [SCHM09]** Schmietendorf, G.: „Ermittlung und Bewertung von Verfahren zur Ableitung von Level-of-Service aus Streckenreisezeiten“, Projektarbeit im Rahmen der Lehrveranstaltung Verkehrssteuerungs- und -Leittechnik, Wintersemester 2008/2009, TU-Dresden, Dresden, Januar 2009
- [SCHM09]** Schmietendorf, G.: „Ermittlung von Qualitätsparametern bezüglich inhaltlicher Repräsentanz sowie zeitlicher und räumlicher Verfügbarkeit von Verkehrsdaten“, Belegarbeit im Rahmen der Lehrveranstaltung Hauptseminar Verkehrstelematik, Sommersemester 2009, TU-Dresden, Dresden, Juli 2009
- [SCHN97]** Schnabel, W.; Lohse, D.; et al.: „Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung Band 1“, 2. Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1997
- [SCHW02]** Keller, R.; Karel, T.: „Verfahren zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit, der Verkehrsqualität und der Belastbarkeit von Verkehrsanlagen“,

Forschungsauftrag VSS 1995/023 (17/95) auf Antrag des Schweizerischen Verbandes für Straßen- und Verkehrsfachleute (VSS), Bundesamt für Straßenbau, Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartment, Schweiz, Oktober 2002

- [SPAN07]** Spangler, M.: „Monitoring der Verkehrsqualität für innerstädtische Hauptverkehrsstraßen in München – AP 1 Definition von Verkehrsqualität für die Roten Routen München – Endbericht“, Lehrstuhl für Verkehrstechnik, TU-München, München, 2007
- [STEI92]** Steierwald, G.; Buck, M.: „Geschwindigkeitsverhalten auf einbahnigen Außerortsstraßen in Abhängigkeit von baulichen, betrieblichen und verkehrlichen Randbedingungen“, aus Schriftenreihe ‚Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik‘, Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, 1992
- [STVT00]** Wu, N.: „Verkehr auf Schnellstraßen im Fundamentaldiagramm – Ein neues Modell und seine Anwendungen“, aus Zeitschriftenreihe ‚Straßenverkehrstechnik‘, Heft 8.2000, Seite 378 ff., Kirschbaum-Verlag, August 2000
- [STVT03]** Brilon, W.; Schnabel, W.: „Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen“, aus Zeitschriftenreihe ‚Straßenverkehrstechnik‘, Heft 1.2003, Seite 21 ff., Kirschbaum-Verlag, Januar 2003
- [STVT03]** Wu, N.: „Bemessung und Bewertung von Lichtsignalanlagen – Vergleich der neuen Regelwerke HCM 2000 und HBS 2001“, aus Zeitschriftenreihe ‚Straßenverkehrstechnik‘, Heft 12.2003, Seite 613 ff., Kirschbaum-Verlag, Dezember 2003
- [STVT04]** Kochs, A.; Steinauer, B.; Meerkamp, N.: „Wie definiert ein Autofahrer Stau? – Nutzung und Akzeptanz von Verkehrslageinformationen im Internet“, aus Zeitschriftenreihe ‚Straßenverkehrstechnik‘, Heft 5.2004, Seite 221 ff., Kirschbaum-Verlag, Mai 2004
- [STVT04]** Braun, R.; Mück, J.: „Online-Bewertung Grüner Wellen – Ein Fuzzy-Expertensystem zur Schätzung der Verlustzeit von Lichtsignalanlagen mittels halteliniennaher Detektoren“, aus Zeitschriftenreihe ‚Straßenverkehrstechnik‘, Heft 5.2004, Seite 213 ff., Kirschbaum-Verlag, Mai 2004
- [STVT05]** Brilon, W.; Miltner, T.: „Verkehrsqualität an vorfahrtgeregelten Innerortsknotenpunkten“, aus Zeitschriftenreihe ‚Straßenverkehrstechnik‘, Heft 1.2005, Seite 19 ff., Kirschbaum-Verlag, Januar 2005
- [STVT05]** Wu, N.: „Verfahren zur Bewertung von verkehrsabhängigen zeitlückengesteuerten Lichtsignalanlagen“, aus Zeitschriftenreihe ‚Straßenverkehrstechnik‘, Heft 9.2005, Seite 441 ff., Kirschbaum-Verlag,

September 2005

- [STVT05]** Baier, M.M.; Kellermann, G.; Großmann, M.: „Fortschreibung des HBS – Aktualisierung auf Basis von neuen Forschungserkenntnissen und Erfahrungen aus der Praxis“, aus Zeitschriftenreihe ‚Straßenverkehrstechnik‘, Heft 5.2005, Seite 239 ff., Kirschbaum-Verlag, Mai 2005
- [SEYD08]** Seydel, I.: „Möglichkeiten der Nutzung multivariater Analysemethoden zur Untersuchung von Verkehrsdaten“, Diplomarbeit, TU-Dresden, Dresden, 2008
- [VTÜV86]** Verband der TÜV e.V. (VdTÜV): „Abgas-Großversuch. Abschlussbericht“, 1986
- [WERM02]** Wermuth, M.: „Grundlagen zur Bemessung von Straßenverkehrsanlagen“, Skript zur Lehrveranstaltung ‚Stadtverkehrsplanung und Straßenverkehrstechnik‘, TU-Braunschweig, Braunschweig, 2002
- [ZWIE02]** Zwieli, F.; Reker, K.; Flach, J.: „Fahrverhaltensbeobachtungen auf Landstraßen am Beispiel von Baumalleen, Mensch und Sicherheit“, aus Schriftenreihe ‚Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen‘, Heft M 124, Bergisch Gladbach, 2002

Internet-Recherche

- [BAST02]** Bundesanstalt für Straßenwesen: „Verkehrsqualität auf Busfahrstreifen bei Mitnutzung durch andere Verkehre“, BAST Information 08/02
Im Internet einsehbar unter (Stand 25.02.2010, 14:30 Uhr):
http://www.bast.de/nn_42718/DE/Publikationen/Infos/2003-2002/08-2002.html
- [ERFU10]** Institut Verkehr und Raum der Fachhochschule Erfurt: „Verkehrsnachfrage“, Begriffserläuterung, Fachhochschule Erfurt, Erfurt, 2010
Im Internet einsehbar unter (Stand 25.02.2010, 14:30 Uhr):
<http://www.fh-erfurt.de/fhe/vur/kompetenzen/themen/verkehrsnachfrage/>
- [FRIE05]** Friedrich, M.: „Angebotsqualität in Straßennetzen – Bewertung und Mängelanalyse“, veröffentlicht als Vortrag auf dem 2. Straßenverkehrsforum der DVWG, München, Oktober 2005
Im Internet einsehbar unter (Stand 25.02.2010, 10:00 Uhr):
http://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/publication/PDF/2005_Fr_Bewertung-Angebotsqualitaet.pdf
- [HESS03]** Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen: „Leitfaden Qualitätssicherung an Lichtsignalanlagen“, Dezernat Verkehrssicherheit und

Verkehrstechnik, Erscheinungsdatum 17.01.2003

Im Internet einsehbar unter (Stand 25.02.2010, 10:00 Uhr):

<http://www.hsvv.hessen.de/internet/binarywriterservlet?imgUid=62550b39-4b09-2a01-be59-26f2d6b51cdd&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111>

[IQMO09] Verkehrsmanagementzentrale Berlin et al.: „IQ Mobility“, Berlin, Januar 2009

Im Internet einsehbar unter (Stand 25.02.2010, 15:30 Uhr):

http://www.iqmobility.de/download/Broschuere_iQmobility.pdf

[KORN05] Korn, J.: „Offene Fragen bei der Planung von Lichtsignalanlagen nach VSS-Normen“, aus Zeitschriftenreihe ‚Straße und Verkehr‘, Heft Nr. 9 / September 2005, Schweiz, Zürich, September 2005

Im Internet einsehbar unter (Stand 25.02.2010, 11:15 Uhr):

http://www.snz.ch/aktuell/S+V_Ko.pdf

[QUAL10] Im Internet einsehbar unter (Stand 25.02.2010, 13:00 Uhr):

<http://www.quality.de/cms/lexikon/lexikon-i/iso-9000.html>

[WANN00] Wannenmacher, E.: „Straßenbeleuchtung und Verkehrssicherheit, Beispiele aus der Praxis“, Kuratorium für Verkehrssicherheit, Institut für Verkehrstechnik und Unfallstatistik, Wien

Im Internet einsehbar unter (Stand 25.02.2010, 10:15 Uhr):

http://www.ltg.at/pdf/vor_t00_wannemacher.pdf

[WANN08] Wannenmacher, E.: „Von der Verkehrstechnik zur Straßenbeleuchtung“, veröffentlicht als Vortrag bei Austrian Standards plus Trainings, Wien, Mai 2008

Im Internet einsehbar unter (Stand 25.02.2010, 11:00 Uhr):

http://www.as-plus.at/fileadmin/user_upload/ASPLUS/4_Trainings/Downloads/M2_Stra%C3%9Fenbeleuchtung_Wannenmacher.pdf

Erklärung

Hierdurch erkläre ich, dass ich die von mir am heutigen Tage eingereichte Studienarbeit selbständig verfasst und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Dresden, den 05. März 2010

.....

Gaby Schmietendorf

Anlagen

Anlage A:	Kurzbeschreibung der Qualitätsstufen nach HBS	A-3
Anlage B:	Berechnungsgleichungen zur Bestimmung des mittleren Reststaus nach HBS	A-5
Anlage C:	Methodik-Konzept zur Berechnung der mittleren Wartezeit nach HBS	A-7
Anlage D:	Qualitätsstufenbedeutung für Knotenpunkte mit LSA nach HBS.....	A-11
Anlage E:	Qualitätsstufenbedeutung für Knotenpunkte ohne LSA nach HBS.....	A-13
Anlage F:	DTVges- und DTVGV-Anteile k und Dauer T für Zeitabschnitte t mit annähernd gleichartigem Verkehrsablauf aus EWS	A-15
Anlage G:	Zustandformen im Verkehrsablauf nach Schnabel und Lohse	A-17
Anlage H:	Verkehrszustände nach Kim und Keller.....	A-19
Anlage I:	Ankunftstypen nach HCM.....	A-21
Anlage J:	Streckenbezogene Reisezeit pro Kilometer (Segment Running Time per Kilometer) nach HCM	A-23
Anlage K:	Einteilung der Qualitätsstufen aufbauend auf den Grenzwerten der mittleren Wartezeiten nach der Schweizer Norm SN 640 022	A-25
Anlage L:	Bewertungsverfahren nach Baier et al.....	A-27
Anlage M:	Bewertungsverfahren nach Brilon und Schnabel.....	A-29
Anlage N:	Bewertungsverfahren nach Spangler	A-31
Anlage O:	Fragebogen-Vorlage.....	A-33
Anlage P:	Ausgefüllte Fragebögen	A-35
Anlage Q:	Qualitätskriterien (Vor- und Nachteile).....	A-41
Anlage R:	Schemaplan der Messstrecke	A-49
Anlage S:	Qualitätskriterien nach Anwendung des Relevanzfilters.....	A-51
Anlage T:	Datensätze der Messstreckendatenbank	A-53
Anlage U:	SQL-Abfragen	A-55
Anlage V:	Excel-Formeln	A-59
Anlage W:	Regen-Dienstage (ermittelt über SQL-Abfrage)	A-61

Anlage A: Kurzbeschreibung der Qualitätsstufen nach HBS

LOS A	<ul style="list-style-type: none"> • freier Verkehrsfluss • uneingeschränkte Bewegungsfreiheit der Fahrzeuge • die Verkehrsteilnehmer beeinflussen sich nicht untereinander
LOS B	<ul style="list-style-type: none"> • freier Verkehrsfluss • leichter Einfluss auf die Bewegungsfreiheit und das Verhalten der Verkehrsteilnehmer macht sich bemerkbar • jedoch ohne Beeinträchtigung des Einzelnen • sehr stabiler Verkehrszustand
LOS C	<ul style="list-style-type: none"> • teilweise eingeschränkte, wenn auch noch gegebene, Bewegungsfreiheit • die Beeinträchtigungen der Verkehrsteilnehmer untereinander nehmen zu • Fahrverhalten des Einzelnen hängt stärker vom Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer ab • stabiler Verkehrszustand
LOS D	<ul style="list-style-type: none"> • deutliche Beeinträchtigungen und Behinderungen der Bewegungsfreiheit • das Verhalten des Einzelnen bedingt nun beinahe ständig das Verhalten der Anderen • noch stabiler Verkehrszustand
LOS E	<ul style="list-style-type: none"> • Bewegungsfreiheit der Verkehrsteilnehmer ist nur minimal gegeben • ständig gegenseitige Behinderungen zwischen den Verkehrsteilnehmern • Verkehrszustand wechselt von Stabilität zu Instabilität, d.h. geringe Zunahmen in der Stärke des Verkehrsstromes können zum Zusammenbruch bzw. Abbruch des Verkehrsflusses führen • Erreichen der Leistungsfähigkeit
LOS F	<ul style="list-style-type: none"> • Die Stärke des zuströmenden Verkehrs ist größer als die Leistungsfähigkeit der Anlage • Zusammenbruch des Verkehrs • Verkehrsströme fließen nur noch in geringem Maße • Bildung von Stau mit ständig wachsender Tendenz

Anlage B: Berechnungsgleichungen zur Bestimmung des mittleren Reststaus nach HBS

Sättigungsgrad	Gleichungen zur Bestimmung des mittleren Reststaus für einen Untersuchungszeitraum T, der U Umläufe umfasst	Hinweise
$g_1 \leq 0,65$	$N_{GE} = 0$	Reststau zeitunabhängig, konstant
$g_2 = 0,90$	$N_{GE} = \frac{1}{0,26 + m/150}$	
$g_3 = 1,00$	$N_{GE} = 0,3476 \sqrt{n_C} U^{0,565}$	
$g_4 = 1,20$	$N_{GE} = [n_C (g-1)U + 25 - 20g]/2$ $N_{GE} = 0,1 \cdot n_C \cdot U + 0,5$	Reststau zeitabhängig, wächst von Umlauf zu Umlauf
$g_5 > 1,20$	$N_{GE} = n_C (g-1) U/2$	
	Gleichungen zur Bestimmung des mittleren Reststaus, der im Umlauf U vorhanden ist	
$g_1 \leq 0,65$	$N_{GE} = 0$	Reststau zeitunabhängig, konstant
$g_2 = 0,90$	$N_{GE} = \frac{1}{0,26 + m/150}$	
$g_3 = 1,0$	$N_{GE,U} = 0,545 \sqrt{n_C} U^{0,565}$	
$g_4 = 1,20$	$N_{GE,U} = [n_C (g-1)U + 25 - 20g]$ $N_{GE,U} = 0,2 \cdot n_C \cdot U + 1$	Reststau zeitabhängig, wächst von Umlauf zu Umlauf
$g_5 > 1,20$	$N_{GE,U} = n_C (g-1) U$	
Zwischenwerte	$N_{GE,g} = N_{GE,g_i} + \frac{N_{GE,g_{i+1}} - N_{GE,g_i}}{g_{i+1} - g_i} \cdot (g - g_i)$	Zwischenwerte durch lineare Interpolation bestimmen
mit N_{GE} = Anzahl der gestauten Fahrzeuge bei Grünende (mittlerer Reststau) [Fz] n_C = maximale Anzahl von Fahrzeugen, die während der Freigabezeit eines Umlaufs abfließen können = $t_f \cdot q_s / 3600$ [Fz] m = mittlere Eintreffenszahl = $q \cdot t_U / T$ [Fz] U = Anzahl der Umläufe, die der Untersuchungszeitraum umfasst T = Untersuchungszeitraum = $U \cdot t_U$ [s] t_U = Umlaufzeit [s] q = Verkehrsstärke [Fz/T]		

Anlage C: Methodik-Konzept zur Berechnung der mittleren Wartezeit nach HBS

Ziel:

Bestimmung der Qualität des Verkehrsablaufs an einem Knotenpunkt mit LSA unter Nutzung des HSB

→ Qualitätskriterium laut HBS: mittlere Wartezeit

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs nach HBS:

- Ø Ermittlung der Wartezeiten für die einzelnen Verkehrsarten
- Ø Einstufung der Qualität des Verkehrsablaufs nach LOS

Notwendige Einzeldaten für Kfz (laut Formblatt 3, HBS):

- Umlaufzeit [s]
- Anzahl der Umläufe im Untersuchungszeitraum
- Untersuchungszeitraum (betrachteter Zeitraum) [min]
- Freigabezeit (Grünzeit) [s]
- Freigabezeitanteil [-]
- Sperrzeit (Rotzeit) [s]
- Verkehrsstärke [Fzg/h]
- Mittlere Eintreffensanzahl [Fzg]
- Sättigungsverkehrsstärke [Fzg/h]
- Mittlerer Zeitbedarfswert [s/Fzg]
- Abflusskapazität pro Umlauf [Fzg] -> benötigt geschaltete Freigabezeit und Zeitbedarfswert
- Kapazität des Fahrstreifens [Fzg/h] -> benötigt Freigabezeitanteil und Sättigungsverkehrsstärke
- Sättigungsgrad [-]
- Reststau (Anzahl der gestauten Fahrzeuge bei Grünende) [Fzg]
- Anzahl der in einem Umlauf anhaltenden Fahrzeuge [Fzg]
- Prozentualer Halteanteil (Anteil der haltenden Fahrzeuge) [%]
- Statistische Sicherheit (Sicherheit gegen Überstauung) [%]
- Anzahl der gestauten Fahrzeuge bei Rotende [Fzg]
- Staulänge [m]
- Mittlere Wartezeit [s]
- Gesamtverkehrsstärke des Knotenpunktes [Fzg/h]
- Gesamtkapazität des Knotenpunktes mit LSA [Fzg/h]
- Mittlerer Sättigungsgrad des Knotenpunktes [-]
- Mittlerer Sättigungsgrad der maßgebenden Fahrstreifen [-]

Vorliegende Voraussetzungen:

Videobilder (Intervall: 6-7 Bilder pro Sekunde)

- Mit Zeitstempel + Zeitraum
- Nur tagsüber (ca. 8:00 bis 17:00)

Methodik zur Berechnung der mittleren Wartezeit nach HBS:

Zu beachten: HSB geht in der Berechnung von Knotenpunkten mit nicht koordinierter Steuerung (also Festzeitsteuerung) aus!!! → für koordinierte Zufahrten gelten andere Qualitätskriterien (z.B. Prozentsatz der erreichten Durchfahrten, Anzahl der Halte)

Für die Berechnung der mittleren Wartezeit bei Festzeitsteuerung werden folgende Größen benötigt:

- Maßgebende Verkehrsstärke
- Phasensystem mit den erforderlichen Zwischenzeiten für die Phasenübergänge
→ Zwischenzeit berechnet sich aus Überfahrzeit (Anteil der überfahrenen Gelbzeit), Räumzeit, Einfahrzeit
- Sättigungsverkehrsstärken der einzelnen Fahrstreifen der Signalzufahrten

Ø **Umlaufzeit [s]:**

Benötigte Einzeldaten	Zusätzlich benötigte Größen / Bemerkungen
Anzahl der Phasen [-]	Erkennbarkeit der Signalschirme ist gegeben → Abzählbar anhand der Videobilder
Maßgebende Fahrstreifenverkehrsstärke [Fzg/h] der Phase i	→ nicht aus Videobildern ermittelbar: woher nehmen??? – siehe Kapitel 2 HBS
Zugehörige Sättigungsverkehrsstärke [Fzg/h] für den maßgebenden Fahrstreifen der Phase i	Für normale Sättigungsverkehrsstärke unter Standardbedingungen: Benötigt wird Zeitbedarfswert t_B → Abhängigkeit von der zu erwartenden Freigabezeit: >10 sec: $t_B = 1,8$; 10 sec: $t_B = 1,5$; 6 sec: $t_B = 1,2$ Beachte: Einfluss SV-Anteil + Sättigungsverkehrsstärke variiert je nach Einflussgröße → berechenbar, da Freigabezeitanteil ungefähr aus den Videobildern ablesbar
Summe der maßgebenden Zwischenzeiten [s]	Einfaches Bilden der Summe aus den maßgebenden Zwischenzeiten über die Phasenanzahl → berechenbar, wenn man die maßgebenden Zwischenzeiten für einen Phasenwechsel hat
Maßgebende Zwischenzeit für einen Phasenwechsel [s]	Überfahrzeit (Anteil der überfahrenen Gelbzeit), Räumzeit, Einfahrzeit → aus Videobildern

→ beachte: Umlaufzeit sollte zwischen 60 und 90 sec liegen; Berechnung bei Grüner Welle anders (auf Basis des Sättigungsgrades)

Ø **Freigabezeitanteil [-]:**

<p>Freigabezeit [s]</p> <ul style="list-style-type: none"> Verkehrsflussverhältnis des maßgebenden Fahrstreifens der Phase i [-] Summe der Verkehrsflussverhältnisse der maßgebenden Phasen [-] Gewählte Umlaufzeit [s] Zwischenzeitsumme [s] 	<ul style="list-style-type: none"> Benötigt: Maßgebende Fahrstreifenverkehrsstärke [Fzg/h] der Phase i (à woher???) Und Zugehörige Sättigungsverkehrsstärke [Fzg/h] für den maßgebenden Fahrstreifen der Phase i Summe aus Verkehrsflussverhältnissen über alle Phasen à berechenbar, wenn bekannt Siehe oben à bekannt Siehe oben unter Summe der maßgebenden Zwischenzeiten [s] à bekannt
Umlaufzeit [s]	à Siehe oben

Ø **Verkehrsstärke auf dem betreffenden Fahrstreifen [Fzg/h]:**

	à anhand der Videobilder auszählen?
--	-------------------------------------

Ø **Zugehörige Sättigungsverkehrsstärke für den betreffenden Fahrstreifen [Fzg/h]:**

Zeitbedarfswert	siehe oben bzw. Tabelle Seite 6-14 à liegt vor
-----------------	---

Ø **Mittlerer Stau am Ende der Grünzeit für den betrachteten Untersuchungszeitraum [Fzg]:**

<p>Abhängig vom Sättigungsgrad à je nach Sättigungsgrad unterschiedliche Gleichungen zur Bestimmung des mittleren Reststaus für einen Untersuchungszeitraum T, der U Umläufe umfasst</p>	<p>Eventuell benötigt:</p> <ul style="list-style-type: none"> Maximale Anzahl von Fahrzeugen, die während der Freigabezeit eines Umlaufs abfließen können (zur Berechnung benötigt: Freigabezeit, Sättigungsverkehrsstärke (siehe oben)) [Fzg] Anzahl der Umläufe, die der Untersuchungszeitraum umfasst [-] Umlaufzeit [s] Untersuchungszeitraum (zur Berechnung benötigt: Anzahl der Umläufe im Untersuchungszeitraum, Umlaufzeit) [s] Verkehrsstärke [Fzg/Untersuchungszeitraum] Mittlere Eintreffenszahl (zur Berechnung benötigt: Verkehrsstärke, Umlaufzeit, Untersuchungszeitraum (siehe oben)) [Fzg] <p>à alles ermittelbar aus dem vorliegenden Datenmaterial</p>
--	--

à beachte: Mittlerer Stau am Ende der Grünzeit für den betrachteten Untersuchungszeitraum N_{GE} entspricht dem mittleren Reststau bzw. der Anzahl der gestauten Fahrzeuge bei Grünende

Berechnung der Wartezeiten für andere Verkehrsteilnehmer nach HBS:

Verkehrsteilnehmer	Benötigte Einzeldaten
1. Busse und Bahne	Sperrzeit (Rotzeit) [s], Umlaufzeit [s], Anfahrzeitzuschlag (ca. 9 sec bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h) [s] Beachte: wenn kein eigener Fahrweg für ÖPNV, dann Berechnung wie oben für Kfz
2. Fußgänger	Sperrzeit (Rotzeit) [s], Umlaufzeit [s] Beachte: maximale Wartezeit soll der Sperrzeit entsprechen
3. Radfahrer	Freigabezeitanteil (Freigabezeit, Umlaufzeit) [-], Umlaufzeit [s], Verkehrsstärke der Radfahrer [Rad/h], Breite der Radverkehrsanlage [m]

Weitere Qualitätskenngrößen:

- Ø Anzahl der Halte von Kraftfahrzeugen während eines Umlaufs
Nährungsweise Bestimmung möglich oder eines Auszählen aus den Videobildern
- à Einfluss auf Kraftstoffverbrauch
- Ø Maximale Anzahl an Vorrückvorgängen
- Ø Sättigungsgrad

Anlage D: Qualitätsstufenbedeutung für Knotenpunkte mit LSA nach HBS

Stufe A	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mehrzahl der Verkehrsteilnehmer passiert nahezu ungehindert den Knotenpunkt ○ Sehr kurze Wartezeiten
Stufe B	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alle während der Sperrzeit ankommenden Verkehrsteilnehmer können in der nachfolgenden Freigabezeit weiterfahren oder -gehen ○ kurze Wartezeiten
Stufe C	<ul style="list-style-type: none"> ○ nahezu alle während der Sperrzeit ankommenden Verkehrsteilnehmer können in der nachfolgenden Freigabezeit weiterfahren oder –gehen ○ Spürbare Wartezeiten ○ Beim Kfz-Verkehr im Mittel nur geringer Stau am Ende der Freigabezeit
Stufe D	<ul style="list-style-type: none"> ○ Im Kfz-Verkehr ist ständiger Reststau vorhanden ○ Beträchtliche Wartezeiten für alle Verkehrsteilnehmer ○ Der Verkehrszustand ist noch stabil
Stufe E	<ul style="list-style-type: none"> ○ Verkehrsteilnehmer stehen in erheblicher Konkurrenz zueinander ○ Im Kfz-Verkehr stellt sich ein allmählich wachsender Stau ein ○ Sehr lange Wartezeiten ○ Die Kapazität ist erreicht
Stufe F	<ul style="list-style-type: none"> ○ Die Nachfrage ist größer als die Kapazität ○ Fahrzeuge müssen bis zu ihrer Abfertigung mehrfach vorrücken ○ Der Stau wächst stetig ○ Extrem lange Wartezeiten ○ Die Anlage ist überlastet

Anlage E: Qualitätsstufenbedeutung für Knotenpunkte ohne LSA nach HBS

Stufe A	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mehrzahl der Verkehrsteilnehmer passiert nahezu ungehindert den Knotenpunkt ○ Sehr geringe Wartezeiten
Stufe B	<ul style="list-style-type: none"> ○ Beeinflussung der Fahrmöglichkeiten der wartepflichtigen Kfz-Ströme vom bevorrechtigten Verkehr ○ Geringe Wartezeiten
Stufe C	<ul style="list-style-type: none"> ○ Nebenströme müssen auf eine merkbare Anzahl von bevorrechtigten Verkehrsteilnehmern achten ○ Spürbare Wartezeiten ○ Staubildung ○ Der Stau stellt jedoch weder hinsichtlich seiner räumlichen Ausdehnung noch bezüglich der zeitlichen Dauer eine starke Beeinträchtigung dar
Stufe D	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mehrzahl der Fahrzeugführer muss Haltevorgänge, verbunden mit deutlichen Zeitverlusten hinnehmen ○ Für einzelne Fahrzeuge hohe Wartezeiten ○ Vorübergehend merklicher Stau in einem Nebenstrom möglich, der sich jedoch wieder zurückbildet ○ Der Verkehrszustand ist noch stabil
Stufe E	<ul style="list-style-type: none"> ○ Es bilden sich Staus, die sich bei der vorhandenen Belastung nicht mehr abbauen ○ Sehr große und stark streuende Wartezeiten ○ Geringfügige Verschlechterungen der Einflussgrößen können zum Verkehrszusammenbruch führen ○ Die Kapazität ist erreicht
Stufe F	<ul style="list-style-type: none"> ○ Die Anzahl der Fahrzeuge, die in einem Verkehrsstrom dem Knotenpunkt je Zeiteinheit zufließen, ist über ein längeres Zeitintervall größer als die Kapazität für diesen Strom ○ Lange, ständige wachsende Schlangen bilden sich ○ Besonders hohe Wartezeiten ○ Die Situation löst sich erst nach einer deutlichen Abnahme der Verkehrsstärken im zufließenden Verkehr wieder auf ○ Der Knotenpunkt ist überlastet

Anlage F: DTV_{ges}- und DTV_{GV}-Anteile k und Dauer T für Zeitabschnitte t mit annähernd gleichartigem Verkehrsablauf aus EWS

Zeit- abschnitt t		Anzahl Stunden pro Jahr T [h/a]	Gesamtverkehr						Güterverkehr		
			Bundesautobahnen (Straßentypen 1, 3) ≥ 3 FS*) DTV [Kfz/24h]				sonstige Straßen (Straßentypen 2, 4-6) 2 FS DTV [Kfz/24h]		Bundes- auto- bahnen	sonstige Straßen	
			≤ 60.000		> 60.000		≤ 40.000				> 40.000
		4.824	k _{ges,w}		k _{ges,w}		k _{ges,w}		k _{GV,w}		
Normal- werk- tage (w)	1	30	0,1003	0,0883	0,1047	0,0920	0,1207	0,0971	0,0624	0,0745	
	2	40	0,0930	0,0855	0,0970	0,0901	0,1112	0,0927	0,0624	0,0745	
	3	130	0,0840	0,0815	0,0890	0,0849	0,1006	0,0893	0,0624	0,0745	
	4	500	0,0740	0,0743	0,0790	0,0793	0,0817	0,0826	0,0624	0,0745	
	5	4.124	0,0355	0,0357	0,0346	0,0349	0,0337	0,0343	0,0382	0,0361	
		2.424	k _{ges,u}		k _{ges,u}		k _{ges,u}		k _{GV,u}		
Urlaubs- werk- tage (u)	6	30	0,0928	0,0839	0,0983	0,0860	0,1121	0,0941	0,0624	0,0745	
	7	40	0,0841	0,0792	0,0945	0,0845	0,1018	0,0904	0,0624	0,0745	
	8	130	0,0760	0,0721	0,0860	0,0810	0,0897	0,0846	0,0624	0,0745	
	9	500	0,0631	0,0636	0,0650	0,0657	0,0660	0,0669	0,0624	0,0745	
	10	1.724	0,0310	0,0314	0,0293	0,0300	0,0284	0,0291	0,0333	0,0283	
		1.512	k _{ges,s}		k _{ges,s}		k _{ges,s}		k _{GV,s}		
Sonn- u. Feier- tage (s)	11	30	0,0938	0,0881	0,1025	0,0915	0,1376	0,1068	0,0614	0,0686	
	12	40	0,0850	0,0800	0,0875	0,0800	0,1144	0,0920	0,0614	0,0686	
	13	130	0,0790	0,0750	0,0790	0,0760	0,0944	0,0840	0,0614	0,0686	
	14	500	0,0627	0,0640	0,0640	0,0645	0,0572	0,0600	0,0614	0,0686	
	15	812	0,0187	0,0190	0,0174	0,0184	0,0165	0,0187	0,0247	0,0185	

*) FS: Fahrstreifen

Anlage G: Zustandformen im Verkehrsablauf nach Schnabel und Lohse

Merkmal	freier Verkehr	teilgebundener Verkehr	gebundener Verkehr	Überfüllung
Dichte	gering	zunehmend	groß	maximal
Fahrzeugabstand	groß	durchschnittlich	gering	klein
	zufällig	beginnende Beeinflussung des Abstands	direkte Beeinflussung, etwa gleicher Abstand	stark beeinflusst, wechselnd
Freizügigkeit	voll	eingeschränkt	kaum vorhanden	keine
Geschwindigkeit	Fahren mit Wunschgeschwindigkeit	leicht verringerte Geschwindigkeit	verringerte Geschwindigkeit, etwa gleiches Geschwindigkeitsniveau	unstetig, Fahren und Halten, Beschleunigen und Bremsen
Überholmöglichkeiten	gegeben	eingeschränkt	kaum vorhanden	keine
Verkehrsstruktur	Einzelfahrzeuge	Einzelfahrzeuge und kleine Gruppen	große Gruppen, Kolonne	Kolonne und anhaltende Fahrzeuge
Verkehrsfluss	stabil			instabil

Anlage H: Verkehrszustände nach Kim und Keller

1. freier Verkehr
= stationärer und stabiler Verkehrsfluss, deutliche Unterschiede zwischen Fahrstreifen
2. teilgebundener Verkehr
= meta-stabiler Zustand, Verkehrsteilnehmer in Bewegungsfreiheit stark eingeschränkt
3. synchroner Verkehr
= Geschwindigkeiten auf allen Fahrstreifen gleich und etwas geringer als im teilgebundenen Verkehr, aber immer noch hoch
4. stockender Verkehr
= niedrige, extrem schwankende Geschwindigkeiten bei relativ hoher und nur kaum schwankender Verkehrsstärke, Geschwindigkeit und Verkehrsstärke sind nur gering korreliert
5. gestauter Verkehr
= niedrige Geschwindigkeit und sehr niedrige Verkehrsstärke, stromaufwärts laufende Schockwellen
6. stehender Verkehr
= Geschwindigkeit und Verkehrsstärke nahezu null

Anlage I: Ankunftstypen nach HCM

Arrival Type	Description
1	Dense platoon containing over 80 percent of the lane group volume, arriving at the start of the red phase. This AT is representative of network links that may experience very poor progression quality as a result of conditions such as overall network signal optimization.
2	Moderately dense platoon arriving in the middle of the red phase or dispersed platoon containing 40 to 80 percent of the lane group volume, arriving throughout the red phase. This AT is representative of unfavorable progression on two-way streets.
3	Random arrivals in which the main platoon contains less than 40 percent of the lane group volume. This AT is representative of operations at isolated and noninterconnected signalized intersections characterized by highly dispersed platoons. It may also be used to represent coordinated operation in which the benefits of progression are minimal.
4	Moderately dense platoon arriving in the middle of the green phase or dispersed platoon containing 40 to 80 percent of the lane group volume, arriving throughout the green phase. This AT is representative of favorable progression on a two-way street.
5	Dense to moderately dense platoon containing over 80 percent of the lane group volume, arriving at the start of the green phase. This AT is representative of highly favorable progression quality, which may occur on routes with low to moderate side-street entries and which receive high-priority treatment in the signal timing plan.
6	This arrival type is reserved for exceptional progression quality on routes with near-ideal progression characteristics. It is representative of very dense platoons progressing over a number of closely spaced intersections with minimal or negligible side-street entries.

Anlage J: Streckenbezogene Reisezeit pro Kilometer (Segment Running Time per Kilometer) nach HCM

Urban Street Class	I			II			III		IV		
FFS (km/h)	90 ^a	80 ^a	70 ^a	70 ^a	65 ^a	55 ^a	55 ^a	50 ^a	55 ^a	50 ^a	40 ^a
Average Segment Length (m)	Running Time per Kilometer (s/km)										
100	b	b	b	b	b	b	-	-	-	129	159
200	b	b	b	b	b	b	88	91	97	99	125
400	59	63	67	66	68	75	75	78	77	81	96
600	52	55	61	60	61	67	d	d	d	d	d
800	45	49	57	56	58	65	d	d	d	d	d
1000	44	48	56	55	57	65	d	d	d	d	d
1200	43	47	54	54	57	65	d	d	d	d	d
1400	41	46	53	53	56	65	d	d	d	d	d
1600	40 ^c	45 ^c	51 ^c	51 ^c	55 ^c	65 ^c	d	d	d	d	d

Notes:

a. It is best to have an estimate of FFS. If there is none, use the table above, assuming the following default values:

For Class	FFS (km/h)
I	80
II	65
III	55
IV	45

b. If a Class I or II urban street has a segment length less than 400 m, (a) reevaluate the class and (b) if it remains a distinct segment, use the values for 400 m.

c. For long segment lengths on Class I or II urban streets (1600 m or longer), FFS may be used to compute running time per kilometer. These times are shown in the entries for a 1600-m segment.

d. Likewise, Class III or IV urban streets with segment lengths greater than 400 m should first be reevaluated (i.e., the classification should be confirmed). If necessary, the values above 400 m can be extrapolated.

Although this table does not show it, segment running time depends on traffic flow rates; however, the dependence of intersection delay on traffic flow rate is greater and dominates in the computation of travel speed.

Anlage K: Einteilung der Qualitätsstufen aufbauend auf den Grenzwerten der mittleren Wartezeiten nach der Schweizer Norm SN 640 022

Qualitätsstufe	Mittlere Wartezeit w [s]	Beurteilung des Verkehrszustandes	
A	< 10	sehr gut	Ausgezeichnete Verkehrsqualität. Höchstens geringe Zeitverluste. Die Mehrzahl der Fahrzeuge muss in der Regel nicht warten.
B	10–15	sehr gut	Gute Verkehrsbedingungen. Geringe Beeinflussung der untergeordneten Ströme durch die vortrittsberechtigten Ströme. Die Wartezeiten sind tolerierbar.
C	15–25	gut	Befriedigende Qualität. Deutliche Beeinflussung der untergeordneten Ströme durch die vortrittsberechtigten Ströme. Spürbarer Anstieg der Wartezeit. Bildung von Stau, der aber bezüglich zeitlicher Dauer und räumlicher Ausdehnung keine nennenswerte Beeinträchtigung darstellt.
D	25–45	ausreichend	Ausreichende Verkehrsqualität. Auslastung nahe bei der zulässigen Belastung. Behinderungen in Form von Haltevorgängen. Stabilität der Verkehrssituation hinsichtlich Stau und Wartezeiten.
E	> 45	kritisch	Mangelhafte Qualität des Verkehrszustandes. Übergang vom stabilen in den instabilen Verkehrszustand. Geringe Zunahmen der Verkehrsbelastungen führen zu stark ansteigenden Wartezeiten und Staulängen. Kein Stauabbau. Stark streuende Wartezeiten. Der Verkehr kann knapp bewältigt werden. Die Sicherheit nimmt deutlich ab.
F	–	–	Völlig ungenügender Zustand (Überlastung). Anzahl der zufließenden Fahrzeuge grösser als die Leistungsfähigkeit. Lange, wachsende Kolonnen und hohe Wartezeiten. Weitere Reduktion der Sicherheit.

Anlage L: Bewertungsverfahren nach Baier et al.

à Kriterium:

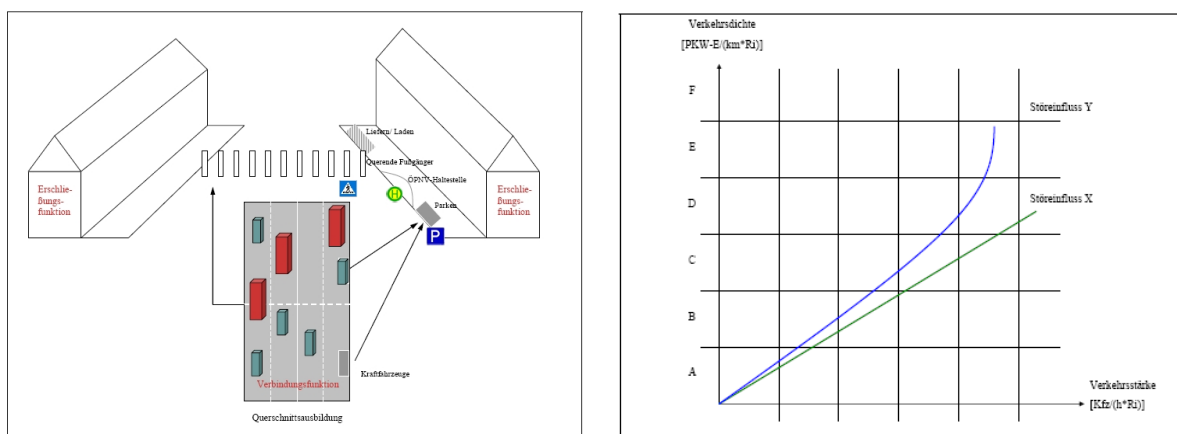
Verkehrsdichte über Grad der Überlagerung anhand von Störeinflüssen der örtlichen Erschließungsfunktion

à Betrachtungsraum:

Streckenabschnitte, die nicht durch Störungen an Knotenpunkten beeinflusst sind, d.h. Trennung von Streckenabschnitt und Knotenpunkt

Möglichkeiten zur Bestimmung:

à relevant ist der Grad der Überlagerung anhand von Störeinflüssen der örtlichen Erschließungsfunktion für die Bewertung der Verkehrsqualität



à die Darstellung des Zusammenhangs verschiedener Störeinflüsse aus der Erschließungsfunktion auf die Verkehrsqualität (beschrieben durch die mittleren streckenbezogenen Dichtewerte) in Abhängigkeit der Verkehrsstärke erlaubt die Angabe einer Qualitätsstufe für je einen gegebenen verkehrlichen Zustand eines Straßen-Umfeld-Typs

Qualitätsstufenschema:

à die Qualitätsstufen werden für bestimmte Straßen-Umfeld-Typen über den Parameter „mittlere, richtungsbezogene Kraftfahrzeugverkehrsdichte im Streckenabschnitt“ [Pkw-Einheiten/(km und Richtung)] definiert

QSV	Notenspektrum
A	1,0 bis 1,5
B	1,5 bis 2,5
C	2,5 bis 3,5
D	3,5 bis 4,5
E	4,5 bis 5,5
F	5,5 bis 6,0

Anlage M: Bewertungsverfahren nach Brilon und Schnabel

à Kriterium:

mittlere Reisezeit pro Streckenlänge (bzw. mittlere Reisegeschwindigkeit)

à Betrachtungsraum:

längere Streckenabschnitte über mehrere Knotenpunkte

3 Möglichkeiten zur Bestimmung:

- Reisezeitmessungen (bei bestehenden Anlagen)

Gesamtreisezeit:

$t_R = \sum_{i=1}^n f_i + \sum_{i=2}^K w_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} t_{hij}$		
mit		
n	=	Anzahl der Teilstrecken [-]
t_R	=	Reisezeit [s]
f_i	=	Fahrzeit für eine Teilstrecke i (von Knoten zu Knoten) [s]
K	=	Anzahl der Knoten $K = n + 1$ [-]
w_i	=	Wartezeiten an Knoten i [s]
m_i	=	Anzahl der Streckenhalte auf der Teilstrecke i [-]
t_{hij}	=	Haltezeit für Streckenhalt j auf der Teilstrecke i (z.B. durch Baustelle) [s]

Mittlere Reisegeschwindigkeit:

$V_R = \frac{3,6 \cdot N \cdot L}{\sum_{i=1}^N t_{Ri}}$		
mit		
V_R	=	mittlere Reisegeschwindigkeit [km/h]
N	=	Anzahl der Messfahrten [-]
L	=	Länge des untersuchten Straßenzuges [m]
t_{Ri}	=	Reisezeit der Messfahrt [s]

Notwendiger Stichprobenumfang:

$N = \left(\frac{d \cdot r}{d} \right)^2$		
mit		
d	=	Standardabweichung der Reisegeschwindigkeit [km/h]
r	=	statistische Kennzahl [-]
d	=	zugelassener Fehler der Reisegeschwindigkeit [km/h]

, analytische Bestimmung

mittlere Reisezeit:

$t_R = f + \sum_{i=1}^K w_i + n \cdot t_h$		
mit		
n	=	mittlere Anzahl der zu berücksichtigenden Halte durch Behinderung außerhalb der Knotenpunkte [-]
t_R	=	Reisezeit [s]
$f = \frac{L}{V}$	=	Fahrzeit für die gesamte Strecke der Länge L , dabei ist $V \approx V_{zul}$ (d.h. bei der Bestimmung der Fahrzeit kann meist mit der zulässigen Geschwindigkeit für den Straßenzug gerechnet werden) [s]
K	=	Anzahl der Knotenpunkte [-]
w_i	=	mittlere Wartezeit eines Kraftfahrzeugs in der Knotenzufahrt [s]
t_h	=	durchschnittliche Zeit für einen möglichen Halt durch Behinderungen außerhalb der Knotenpunkte auf der freien Strecke [s]

mittlere Reisegeschwindigkeit:

$V_R = \frac{3,6 \cdot L}{t_R}$		
mit		
t_R	=	Reisezeit [s]
L	=	Streckenlänge [m]
V_R	=	mittlere Reisegeschwindigkeit [km/h]

f Simulationsuntersuchungen (hauptsächlich bei Planungsfällen)
Nutzung von Simulationsprogrammen, z.B. VISSIM

Qualitätsstufenschema:

à für unterschiedliche zulässige Geschwindigkeiten:

QSV	Mittlere Reisegeschwindigkeit der Pkw [km/h]		
	50 km/h	bei $V_{zul}=60$ km/h	70 km/h
A	≥ 40	≥ 50	≥ 60
B	≥ 30	≥ 35	≥ 40
C	≥ 25	≥ 25	≥ 30
D	≥ 20	≥ 20	≥ 25
E	≥ 15	≥ 15	≥ 15
F	< 15	< 15	< 15

à für zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h mit zusätzlicher Aufschlüsselung nach der Reisezeit pro 1 km:

Qualitätsstufe	A	B	C	D	E	F
Reisegeschwindigkeit [km/h]	≥ 40	≥ 30	≥ 25	≥ 20	≥ 15	< 15
Reisezeit pro 1 km [s/km]	≤ 90	≤ 120	≤ 144	≤ 180	≤ 240	> 240

Anlage N: Bewertungsverfahren nach Spangler

à Kriterium:

Reisezeit (bzw. mittlere Reisegeschwindigkeit), Auslastungsgrad, Pufferzeitindex, Reisezeitindex (nur für die Kommunikation mit dem Verkehrsteilnehmer)

à Betrachtungsraum:

längere Streckenabschnitte über mehrere Knotenpunkte

Möglichkeiten zur Bestimmung:

mittlere Reisegeschwindigkeit:

$V_R = \frac{s}{t_R}$		
mit		
t_R	=	mittlere Reisezeit [h]
s	=	Länge der betrachteten Routen [km]
V_R	=	mittlere Reisegeschwindigkeit [km/h]

Pufferzeitindex:

$PZI^5 = \frac{t_R^{P95} - t_R^{P5}}{t_R^{P5}}$		
mit		
PZI^5	=	fünfte Perzentil des Pufferzeitindex
t_R^{P95}	=	95. Perzentil der Reisezeit im Untersuchungszeitraum [s]
t_R^{P5}	=	fünftes Perzentil der Reisezeit (= optimale Reisezeit bei freiem Verkehrsablauf) [s]

Auslastungsgrad:

$a = \frac{q_B}{q_{\max}}$		
mit		
a	=	Auslastungsgrad [-]
q_B	=	Bemessungsverkehrsstärke [Kfz/h]
q_{\max}	=	Kapazität [Kfz/h]

Reisezeitindex:

$RZI^{aktuell} = \frac{t_R^{aktuell} - t_R^{P5}}{t_R^{P5}}$		
mit		
$RZI^{aktuell}$	=	Reisezeitindex [s]
$t_R^{aktuell}$	=	aktuell gemessene Reisezeit [s]
t_R^{P5}	=	fünftes Perzentil der Reisezeit (= optimale Reisezeit bei freiem Verkehrsablauf) [s]

Qualitätsstufenschema:

à für die mittlere Reisegeschwindigkeit

QSV	Mittlere Reisegeschwindigkeit der Pkw [km/h]
A	≥ 50
B	≥ 40
C	≥ 30
D	≥ 20
E	≥ 15
F	< 15

à für Pufferzeitindex und Auslastungsgrad

QSV	Pufferzeitindex [-]	Auslastungsgrad [-]
A	$\leq 0,25$	$\leq 0,30$
B	$\leq 0,5$	$\leq 0,55$
C	$\leq 1,0$	$\leq 0,75$
D	$\leq 1,5$	$\leq 0,90$
E	$\leq 2,0$	≤ 1
F	$> 2,0$	-

à für die mittlere Reisegeschwindigkeit (zur Kommunikation an den Verkehrsteilnehmer)

QSV	Mittlere Reisegeschwindigkeit der Pkw [km/h]
Frei	≥ 40
Stockend	≥ 15
Stau	< 15

à für den Reisezeitindex (zur Kommunikation an den Verkehrsteilnehmer)

QSV	Reisezeitindex [-]
Frei	$\leq 0,5$
Stockend	$\leq 1,5$
Stau	$> 1,5$

Anlage O: Fragebogen-Vorlage

Fragen	Antworten der jeweiligen Einrichtung
1. Wie erfolgt die qualitative Bewertung des Verkehrsablaufs für das Verkehrsmanagement?	
2. Beziehen Sie sich bei dieser Bewertung auf Regelwerke (wie z.B. HBS, HCM, RIN o.ä.)?	
3. Nutzen Sie ebenfalls das Prinzip der Qualitätsstufeneinteilung (LOS) – wenn ja, wie viele Stufen existieren bei Ihnen und wie sind diese Stufen zu interpretieren? Wie wurden die Grenzwerte der Stufen festgelegt?	
4. Welche Indikatoren dienen zur qualitativen Bewertung?	
5. Wie erfolgt die Erfassung des Verkehrsablaufs?	
6. Wird die Bewertung getrennt nach den einzelnen Verkehrsanlagen (nur Knoten oder nur Abschnitte der freien Strecke) vollzogen oder über ganze Streckenzüge (freie Strecke mit Knoteneinfluss)?	
7. Dient die qualitative Bewertung eher dem strategischen Management / zur Planung neuer bzw. dem Ausbau vorhandener Anlagen oder auch dem operativen Verkehrsmanagement (wird die Verkehrsqualität überhaupt operativ bestimmt)?	
8. Für wen erfolgt die Bestimmung der Verkehrsqualität (nur zu internen Zwecken oder auch zur Informierung der Verkehrsteilnehmer über aktuelle Verkehrszustände)?	

Anlage P: Ausgefüllte Fragebögen

(von den insgesamt 6 angeschriebenen Einrichtungen wurden 2 Fragebögen (Bremen und Frankfurt am Main) nicht beantwortet)

Fragebogen: Verkehrsmanagementsystem VAMOS Dresden

Fragen	Antworten der jeweiligen Einrichtung
1. Wie erfolgt die qualitative Bewertung des Verkehrsablaufs für das Verkehrsmanagement?	<i>Vinfo für Operatoren 6-stufiger LOS Kollektive Vinfo+Vsteuerung mit Verkehrszuständen „frei“, „dichter Verkehr“ und „Stau“, LOS 1-4,5,6</i>
2. Beziehen Sie sich bei dieser Bewertung auf Regelwerke (wie z.B. HBS, HCM, RIN o.ä.)?	<i>Fundamentaldiagramm für Schleifendetektoren Orientierung am HBS für FCD</i>
3. Nutzen Sie ebenfalls das Prinzip der Qualitätsstufeneinteilung (LOS) – wenn ja, wie viele Stufen existieren bei Ihnen und wie sind diese Stufen zu interpretieren? Wie wurden die Grenzwerte der Stufen festgelegt?	<i>LOS wird genutzt bei Stufeneinteilung Orientierung an HBS sowie Einzelpublikationen Schnabel/Lohse, Berücksichtigung lokaler Spezifika durch Modifikation der Schwellenwerte (sodass Verkehrslageaussage gewahrt bleibt), besonderes Augenmerk auf die Abgrenzung der beiden „schlechten“ Stufen, 6-stufiger LOS für hohe Auflösung (und später Möglichkeiten für Aggregationen lässt)</i>
4. Welche Indikatoren dienen zur qualitativen Bewertung?	<i>Schleifen: Verkehrsstromgeschwindigkeit, Verkehrsmenge FCD: Geschwindigkeit, Verlustzeit, Halteanzahl, Staulänge</i>
5. Wie erfolgt die Erfassung des Verkehrsablaufs?	<i>Schleifen, TEU, FCD</i>
6. Wird die Bewertung getrennt nach den einzelnen Verkehrsanlagen (nur Knoten oder nur Abschnitte der freien Strecke) vollzogen oder über ganze Streckenzüge (freie Strecke mit Knoteneinfluss)?	<i>Schleifen: punktuelle Verkehrslage ohne besondere Berücksichtigung räumlicher Bezüge FCD: streckenbezogene Verkehrslage ohne besondere Berücksichtigung räumlicher Bezüge</i>
7. Dient die qualitative Bewertung eher dem strategischen Management / zur Planung neuer bzw. dem Ausbau vorhandener Anlagen oder auch dem operativen Verkehrsmanagement (wird die Verkehrsqualität überhaupt operativ bestimmt)?	<i>Fokus auf Operativem Straßenverkehrsmanagement, durch Archivierung Statistiken für Verkehrsplanung und verkehrspolitische Entscheidungen möglich (siehe 3., erstmal hohe Auflösung, aggregieren lässt sich immer noch)</i>
8. Für wen erfolgt die Bestimmung der Verkehrsqualität (nur zu internen Zwecken oder auch zur Information der Verkehrsteilnehmer über aktuelle Verkehrszustände)?	<i>Fokus auf Kollektiver Vinfo+Vsteuerung, auch einige amtsbezogene Auswertungen implementiert, noch viele gewünscht</i>

Fragebogen: Verkehrsmanagementzentrale (VMZ) Berlin

Fragen	Antworten der jeweiligen Einrichtung
1. Wie erfolgt die qualitative Bewertung des Verkehrsablaufs für das Verkehrsmanagement?	<i>Nutzung eines Qualitätsmoduls, das die Möglichkeit bietet, die Wirkung von Steuerstrategien und -maßnahmen auf den gesamten Straßenverkehr (IV und ÖV), auf die Kfz-bedingte Luftschadstoff- und Lärmbelastung sowie auf die Unfallsituation und die Kosten darzustellen. Das Qualitätsmodul besteht aus zwei funktionalen Einheiten: Offline-Qualitätsanalyse zur Erkennung von Ursachen- und Wirkungszusammenhängen und Online-Instrument, das die aktuelle Verkehrs- und Umweltqualität im Hauptverkehrsstraßennetz überwacht.</i>
2. Beziehen Sie sich bei dieser Bewertung auf Regelwerke (wie z.B. HBS, HCM, RIN o.ä.)?	<i>Keine explizite Nutzung von Richtlinien, aber Anlehnung an das HBS im Hinblick auf die Verwendung bestimmter Parameter. Die Berechnung der Kosten für den IV, ÖV und die Umwelt basieren darüber hinaus auf den EWS.</i>
3. Nutzen Sie ebenfalls das Prinzip der Qualitätsstufeneinteilung (LOS) – wenn ja, wie viele Stufen existieren bei Ihnen und wie sind diese Stufen zu interpretieren? Wie wurden die Grenzwerte der Stufen festgelegt?	<i>Es werden fünf Verkehrslagestufen klassifiziert. Die Grenzwerte wurden im Vorfeld von Experten festgelegt - Arbeitskreise zu den Sektoren Verkehr (IV, ÖV), Umwelt und Sicherheit haben die Qualitätskriterien ihrer jeweiligen Zielfelder festgelegt und bestimmt, welche Messverfahren und Basisdaten verwendet werden sollen.</i>
4. Welche Indikatoren dienen zur qualitativen Bewertung?	<i>Für den motorisierten Individualverkehr werden der Level of Service (LOS), die mittlere Reisegeschwindigkeit und der Auslastungsgrad eines Streckenabschnittes ermittelt. Für jede Richtung werden die Werte alle 15 Minuten generiert, für ausgewählte Knotenpunkte außerdem mittlere Rückstaulängen und Wartezeiten. Die Qualitätslage für den ÖPNV wird über die Pünktlichkeit aller Buslinien und Straßenbahnlinien abgebildet beziehungsweise durch die mittlere Reisezeit, die für jeden Streckenabschnitt richtungsbezogen im 15-Minuten-Intervall ermittelt wird. Die straßenverkehrsbedingte Luftschadstoff- und Lärmbelastung wird online ermittelt. Aus aktuellen Verkehrs- und Wetterdaten werden die mittlere stündliche Luftschadstoffkonzentration für PM10, NO2 und Ruß bzw. die mittleren Lärmbelastungspegel an der jeweiligen Straßenrandbebauung berechnen. Zur Beurteilung werden Vergleichswerte von Vortagen herangezogen (Tagesmittelwerte). Die aktuell verfügbaren Unfalldaten werden dem Streckennetz zugeordnet, entsprechende Qualitätskennziffern werden berechnet. Pro Streckenabschnitt oder Knoten lassen sich so die Unfalldichte, Unfallkostendichte, Unfallrate, Unfallkostenrate jeweils für den Einjahreszeitraum darstellen beziehungsweise für einen Dreijahreszeitraum bei schweren Unfällen.</i>

<p>5. Wie erfolgt die Erfassung des Verkehrsablaufs?</p>	<p><i>Aus unterschiedlichen Quellen fließen die Rohdaten in diesen Pool, nämlich durch Verkehrsdetektoren, Umwelt- und Wetter-Messnetze, Fachapplikationen zur Unfalldatenerfassung und VDV-Standardschnittstellen, die Daten zum Öffentlichen Verkehr liefern. Zu den Verkehrsdetektoren der VMZ Berlin zählen Bus-FCD (BVG) und TEU (Traffic Eye Units).</i></p>
<p>6. Wird die Bewertung getrennt nach den einzelnen Verkehrsanlagen (nur Knoten oder nur Abschnitte der freien Strecke) vollzogen oder über ganze Streckenzüge (freie Strecke mit Knoteneinfluss)?</p>	<p><i>Ja, es erfolgt eine getrennte Ermittlung von Qualitätsindikatoren zum einen für Streckenabschnitte (pro Richtung) und zum anderen für Knotenpunkte im Netz.</i></p>
<p>7. Dient die qualitative Bewertung eher dem strategischen Management / zur Planung neuer bzw. dem Ausbau vorhandener Anlagen oder auch dem operativen Verkehrsmanagement (wird die Verkehrsqualität überhaupt operativ bestimmt)?</p>	<p><i>Durch die Nutzung einer Offline- und einer Online-Qualitätsanalyse werden sowohl das strategische als auch das operative Management bedient. Für das strategische Management wird durch einen Abgleich mit dem verfügbaren historischen Datenbestand der Erfolg bestimmter Strategien bewertbar, sodass das Verkehrsmanagement insgesamt verbessert werden kann. Im Operativen Verkehrsmanagement können daraufhin zielgerichtete Maßnahmen unmittelbar eingeleitet werden. Das verkehrsmittelübergreifende Online-Monitoring bietet dagegen die Möglichkeit der automatischen Anzeige der aktuellen Qualitätslage im städtischen Netz. Auf thematischen Karten werden die aktuellen Werte der sektoralen Einzelqualitäten und der Qualitätsbewertungen (LoQ – Level of Quality) dargestellt.</i></p>
<p>8. Für wen erfolgt die Bestimmung der Verkehrsqualität (nur zu internen Zwecken oder auch zur Informierung der Verkehrsteilnehmer über aktuelle Verkehrszustände)?</p>	<p><i>Das Qualitätsmodul entspricht einem zentralen Datenpool. Alle Nutzergruppen (Verkehrsmanagement- und -regelungszentralen, Straßenverkehrs-, Straßenbau- und Umweltbehörden, Verkehrsunternehmen und -verbünde, Verkehrspolizei, Unfall- und Verkehrsmanagementkommission) können dort die Informationen abrufen. Die Anzeige des LoQ auf den thematischen Karten unterstützt z.B. die Mitarbeiter in den Leitzentralen des MIV und ÖV bei ihrer Tätigkeit. Über Infotafeln und die Internetplattform wird auch der Verkehrsteilnehmer informiert.</i></p>

Fragebogen: Verkehrssystemmanagementzentrale (VSMZ) Potsdam

Fragen	Antworten der jeweiligen Einrichtung
1. Wie erfolgt die qualitative Bewertung des Verkehrsablaufs für das Verkehrsmanagement?	<i>Wir nutzen das Prinzip der Qualitätsstufeneinteilung (LOS)</i>
2. Beziehen Sie sich bei dieser Bewertung auf Regelwerke (wie z.B. HBS, HCM, RIN o.ä.)?	<i>- keine Angabe -</i>
3. Nutzen Sie ebenfalls das Prinzip der Qualitätsstufeneinteilung (LOS) – wenn ja, wie viele Stufen existieren bei Ihnen und wie sind diese Stufen zu interpretieren? Wie wurden die Grenzwerte der Stufen festgelegt?	<i>Wir unterscheiden drei Verkehrslagestufen, frei, dicht, Stau. Die Grenzwerte wurden einmalig im Vorfeld im Jahr 2000 in einer umfassenden Untersuchung für jeden Messquerschnitt von uns festgelegt und werden jährlich geprüft und aktualisiert. An neuen Standorten wird auf die Daten von aktuellen Verkehrserhebungen und unsere langjährige Erfahrung zur Erstellung der Fundamentaldiagramme zurückgegriffen und in den ersten Wochen feinjustiert.</i>
4. Welche Indikatoren dienen zur qualitativen Bewertung?	<i>Die Anzahl der Fahrzeuge und die Fahrzeuggeschwindigkeit.</i>
5. Wie erfolgt die Erfassung des Verkehrsablaufs?	<i>Mittels Induktionsschleifen und Infrarotdetektoren</i>
6. Wird die Bewertung getrennt nach den einzelnen Verkehrsanlagen (nur Knoten oder nur Abschnitte der freien Strecke) vollzogen oder über ganze Streckenzüge (freie Strecke mit Knoteneinfluss)?	<i>Die Erfassung erfolgt auf freier Strecke mit nächstem Knotenabstand von mind. 250m. Jedoch haben die Kreuzungen innerstädtisch aufgrund der dichten Aufeinanderfolge natürlich Auswirkungen auf den jeweiligen Streckenabschnitt. In der Regel bilden drei - vier Messquerschnitte einen Streckenabschnitt von ca. 1,5 km Länge. Die Streckenabschnitte sind dann in logischer Verknüpfung zu einer Strecke vom Ortseingang bis Zentrum zusammengefasst.</i>
7. Dient die qualitative Bewertung eher dem strategischen Management / zur Planung neuer bzw. dem Ausbau vorhandener Anlagen oder auch dem operativen Verkehrsmanagement (wird die Verkehrsqualität überhaupt operativ bestimmt)?	<i>In erster Linie dem operativen Verkehrsmanagement, da sich in automatischer Auswertung der Verkehrslage weitere Handlungsebenen befinden (z.B. Verkehrsinformation über Leittafeln). An zweiter Stelle für die Planung neuer Anlagen (z.B. Lichtsignalanlagen)</i>
8. Für wen erfolgt die Bestimmung der Verkehrsqualität (nur zu internen Zwecken oder auch zur Informierung der Verkehrsteilnehmer über aktuelle Verkehrszustände)?	<i>Information der Verkehrsteilnehmer über Leitsysteme und Medienmanagement (www.mobil-potsdam.de).</i>

Fragebogen: Verkehrslenkung Berlin

Frage	Antworten der jeweiligen Einrichtung
1. Wie erfolgt die qualitative Bewertung des Verkehrsablaufs für das Verkehrsmanagement?	<i>LOS-Darstellung auf zoombarer Karte, www.vvmz-info.de</i>
2. Beziehen Sie sich bei dieser Bewertung auf Regelwerke (wie z.B. HBS, HCM, RIN o.ä.)?	<i>angelehnt an HBS</i>
3. Nutzen Sie ebenfalls das Prinzip der Qualitätsstufeneinteilung (LOS) – wenn ja, wie viele Stufen existieren bei Ihnen und wie sind diese Stufen zu interpretieren? Wie wurden die Grenzwerte der Stufen festgelegt?	<i>3 Stufen LOS frei – gebunden – Stau Festlegung der Grenzwerte: unbekannt</i>
4. Welche Indikatoren dienen zur qualitativen Bewertung?	<i>Lage im Fundamentaldiagramm</i>
5. Wie erfolgt die Erfassung des Verkehrsablaufs?	<i>q und v von 300 strategischen Messquerschnitten</i>
6. Wird die Bewertung getrennt nach den einzelnen Verkehrsanlagen (nur Knoten oder nur Abschnitte der freien Strecke) vollzogen oder über ganze Streckenzüge (freie Strecke mit Knoteneinfluss)?	<i>genaue Darstellung an Messquerschnitten, an Segmenten ohne Messquerschnitt nur Tendenz der LOS-Angaben zu ungenau</i>
7. Dient die qualitative Bewertung eher dem strategischen Management / zur Planung neuer bzw. dem Ausbau vorhandener Anlagen oder auch dem operativen Verkehrsmanagement (wird die Verkehrsqualität überhaupt operativ bestimmt)?	<i>Aufgrund der Ungenauigkeit sind gesonderte Erhebungen für strategische Maßnahmen erforderlich. Für operative Maßnahmen werden weitere Informationsquellen hinzugezogen.</i>
8. Für wen erfolgt die Bestimmung der Verkehrsqualität (nur zu internen Zwecken oder auch zur Informierung der Verkehrsteilnehmer über aktuelle Verkehrszustände)?	<ul style="list-style-type: none"> • <i>intern: Verkehrsregulungszentrale</i> • <i>Darstellung im Internet (s.o.)</i>

Anlage Q: Qualitätskriterien (Vor- und Nachteile) [FGSV01], [FGSV05], [FGSV08], [FGSV92], [FGSV97]

Kriterium	Verkehrsanlage	Anwendung in	Vorteile	Nachteile
Mittlere Wartezeit / Verlustzeiten	Knotenpunkte mit LSA (unkoordiniert), Knotenpunkte mit LSA (koordiniert), Knotenpunkte ohne LSA, Streckenabschnitte, Streckenzüge	HBS, RiLSA, HCM, SN	<ul style="list-style-type: none"> Durch Minimierung der Wartezeit sind erreichbar: <ul style="list-style-type: none"> ○ Zeitersparnis ○ Verminderung volkswirtschaftlicher Verluste ○ Reduzierung der Abgasemission ○ Sicherheitsgewinne für Fußgänger und Radfahrer durch bessere Akzeptanz der LSA Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung erlaubt differenzierte Beschreibung für verschiedene Anlagen Messung am im mitfahrenden Fahrzeug möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Zufällige Größe, daher nur Mittelwert nutzbar Direkte Online-Messung ist wegen des damit verbundenen großen Aufwands nicht üblich, daher indirekte Messung über die Ankunftszeit an einem Querschnitt im Zuflussbereich in Verbindung mit einem Abflussgesetz unter Berücksichtigung der zugrunde gelegten Geschwindigkeit
Sättigungsgrad / Auslastungsgrad	Knotenpunkte mit LSA (unkoordiniert)	HBS, HCM, SN	<ul style="list-style-type: none"> Zur Beschreibung der Belastung einer Verkehrsanlage geeignet (entspricht Verhältnis der beanspruchten Leistung zur Leistungsfähigkeit) Da enthaltene Leistungsfähigkeit das Produkt aus Fahrzeuganzahl und Geschwindigkeit wiedergibt, werden auch Geschwindigkeiten berücksichtigt 	<ul style="list-style-type: none"> trotz gleichem Auslastungsgrad können Wartezeiten je nach Verkehrsbelastung unterschiedlich ausfallen somit keine Differenzierung verschiedener Anlagen möglich nur zur groben Einschätzung geeignet Bestimmung durch modelltechnische Überlegungen
Anzahl der Fahrzeuge im Stau	Knotenpunkte mit LSA (unkoordiniert)	HBS	<ul style="list-style-type: none"> zeigt die Nachfrage direkt an 	<ul style="list-style-type: none"> Schwer genau zu ermitteln (Videodetektion bietet sich hier an, jedoch Gefahr von Überdeckungen)
Anzahl der Durchfahrten ohne Halt	Knotenpunkte mit LSA (unkoordiniert)		<ul style="list-style-type: none"> Gutes Qualitätsmaß – Halte stören den Verkehrsfluss, muss ein Fahrer nicht anhalten, ist die Zufriedenheit maximal Eher zur Bewertung der Arbeit der LSA- 	<ul style="list-style-type: none"> Schwer eindeutig messbar

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen

Kriterium	Verkehrsanlage	Anwendung in	Vorteile	Nachteile
			Steuerung geeignet	
Anteil überlasteter Umläufe	Knotenpunkte mit LSA (unkoordiniert)	HBS	<ul style="list-style-type: none"> Zur Beschreibung der Effektivität der Steuerung geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> Nur für Beurteilung der Eignung der LSA-Steuerung im Hinblick auf die Höhe des Verkehrsaufkommens geeignet Beschreibt jedoch nicht den Verkehrsablauf selbst
Reststau	Knotenpunkte mit LSA (unkoordiniert)	HCM	<ul style="list-style-type: none"> Verdeutlicht die Fähigkeiten der LSA-Steuerung beim Abbau der Nachfrage – zur Bewertung der Steuerung demnach gut geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> Unterscheidung zwischen tatsächlichem Reststau und zum Zeitpunkt des Beginns der Sperrzeit erst an der Kreuzung ankommenden Fahrzeugen
Anzahl der Halte	Knotenpunkte mit LSA (unkoordiniert), Knotenpunkte mit LSA (koordiniert), Streckenzüge	HBS, RiLSA	<ul style="list-style-type: none"> Wird von Verkehrsmanagement-zentralen bereits teilweise genutzt und in den Standardwerken empfohlen Durch Minimierung der Anzahl der Halte sind erreichbar: <ul style="list-style-type: none"> Verbesserung des Fahrkomforts Reduzierung der Abgas- und Lärmemissionen Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Auffahrunfällen Erhöhung der Leistungsfähigkeit bei starkem Schwerlastverkehr Reduzierung Kraftstoffverbrauch 	<ul style="list-style-type: none"> Ebenfalls schwer genau ermittelbar Direkte Online-Messung ist wegen großem Aufwand nicht üblich (stattdessen Offline über Beobachter, Videokamera, Gerät im mitfahrenden Fahrzeug oder Differenzbildung genauer Messungen des Zu- und Abflusses, aber dennoch sehr großer Aufwand)
Länge des Rückstaus (95%- oder 99%-Staulänge)	Knotenpunkte mit LSA (unkoordiniert), Knotenpunkte ohne LSA	HBS, RiLSA, HCM	<ul style="list-style-type: none"> Verdeutlicht die Nachfrage Kann zur Bewertung der Arbeit der LSA dienen Durch Minimierung der Staulänge sind erreichbar: <ul style="list-style-type: none"> Reduzierung der Abgas- und Lärmemissionen Vermeidung von Behinderungen querender Verkehrsströme am Ende 	<ul style="list-style-type: none"> Messung ist ungenau insbesondere bei überlasteten Knotenpunkten

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen

Kriterium	Verkehrsanlage	Anwendung in	Vorteile	Nachteile
			<p>des Staus</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Verminderung der Stresssituation • Staulänge beeinflussbar über Stauverlagerung des Verkehrs an Stellen, an denen Stau verträglicher und mit weniger Nachteilen behaftet ist • Direkte Online-Messung vorbestimmter Staulängen erfolgt über Detektoren, die an geeigneten Stellen des Stauraums angebracht sind 	
Reisezeit	Knotenpunkte mit LSA (unkoordiniert), Streckenabschnitte, Streckenzüge	RiLSA, HCM	<ul style="list-style-type: none"> • für VTIn verständlich • durch Minimierung der Reisezeit sind erreichbar: <ul style="list-style-type: none"> ○ zügigere Verkehrsabwicklung und Verbesserung der Pünktlichkeit des ÖPNV ○ Zeitersparnis für Verkehrsteilnehmer ○ Verminderung volkswirtschaftlicher Verluste ○ Verminderung betriebswirtschaftlicher Verluste beim ÖPNV 	<ul style="list-style-type: none"> • Online Messung derzeit nur mit Hilfe einer speziellen Geräteausrüstung
Verkehrsstärke	Knotenpunkte mit LSA (unkoordiniert), Streckenabschnitte	RiLSA, HBS, HCM, EWS. Fundamentaldia gramm, SN	<ul style="list-style-type: none"> • gut verständlich • verdeutlich vorhandene Verkehrsmenge • Zwiespalt zwischen Auslastung der verkehrlichen Anlagen (Bewältigung großer Verkehrsstärken) und Begrenzung der Verkehrsstärken bzgl. <ul style="list-style-type: none"> ○ Verträglichkeit nachfolgend gelegener Nutzungen und Funktionen mit Verkehrsbelastung ○ Aufnahmefähigkeit nachfolgender 	<ul style="list-style-type: none"> • Online Zählung der während eines definierten Zeitintervalls den Messquerschnitt passierenden Fahrzeuge einfach realisierbar • Bewertung des Verkehrszustandes im Bereich der Überlastung

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen

Kriterium	Verkehrsanlage	Anwendung in	Vorteile	Nachteile
			Stauräume ○ Funktionsfähigkeit Grüner Wellen	
Reise- geschwindigkeit	Knotenpunkte mit LSA (unkoordiniert), Streckenabschnitte, Streckenzüge	RiLSA, HBS, HCM, EWS, Fundamental-diagramm	<ul style="list-style-type: none"> Steuerung der Fahrgeschwindigkeiten ermöglicht gegebenenfalls Einhaltung örtlich verträglicher Geschwindigkeiten Direkte Online-Messung erfolgt über Belegungszeiten von Detektoren, die an geeigneten Stellen außerhalb von Stauräumen angeordnet sind für Verkehrsteilnehmer verständlich 	<ul style="list-style-type: none"> durchschnittliche Reisegeschwindigkeiten können kurze, aber extreme Staus auf einer Strecke nicht darstellen (insbesondere Stau mit längerem Halt, also kein Stop-and-Go-Verkehr)
Zeitlücke	Knotenpunkte mit LSA (unkoordiniert)	RiLSA	<ul style="list-style-type: none"> Beschreibt Abstandsverhalten von Fahrzeugen über Zeitunterschied zwischen den Durchgängen der Bezugspunkte aufeinander folgender Fahrzeuge eines Fahrzeugstroms an einem Messquerschnitt Mittlere Zeitlücke entspricht dem Kehrwert der Verkehrsstärke 	<ul style="list-style-type: none"> Direkte Online-Messung nicht üblich - stattdessen Offline-Messung über Differenzbildung aufeinander folgender Messzeitpunkte Pulkverhalten
Weglücke			<ul style="list-style-type: none"> Beschreibt das Abstandsverhalten von Fahrzeugen über räumlichen Abstand zwischen den Bezugspunkten aufeinander folgender Fahrzeuge eines Fahrzeugstroms zu einem Zeitpunkt Mittlere Weglücke als Kehrwert der Verkehrsdichte Entspricht stärker dem Abstandempfinden der Verkehrsteilnehmer 	<ul style="list-style-type: none"> Direkte Online-Messung ebenfalls nicht üblich – auch hier Differenzbildung aufeinander folgender Messzeitpunkte jedoch in Verbindung mit vorbestimmter Geschwindigkeit zur Umrechnung in räumlichen Abstand
Belegungszeit (Zeitdauer der Anwesenheit)	Knotenpunkte mit LSA (nicht koordiniert)	RiLSA	<ul style="list-style-type: none"> Aus der Belegungszeit können weitere Größen abgeleitet werden (Fahrzeugart, Geschwindigkeiten, Verkehrsdichte, Auslastungsgrad etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Wahl der Stautestzeit (darf nicht zu klein sein, sonst wird bereits bei langsam fahrenden, langen Fahrzeugen auf Stau geschlossen)

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen

Kriterium	Verkehrsanlage	Anwendung in	Vorteile	Nachteile
			<ul style="list-style-type: none"> • Stauerkennung möglich, wenn Belegungszeit eines Fahrzeugs auf einer Stauschleife größer wird als eine vorgegebene Stautestzeit • Online-Messung direkt möglich 	
Anforderungen durch Fußgänger	Knotenpunkte mit LSA (nicht koordiniert)	RiLSA	<ul style="list-style-type: none"> • Je nach Häufigkeit können Schlussfolgerungen auf die Behinderung des Kfz-Verkehrs erfolgen 	<ul style="list-style-type: none"> • Sagen nichts über den Verkehrsablauf des Kfz-Verkehrs aus
An- und Abmeldung durch Fahrzeuge	Knotenpunkte mit LSA (nicht koordiniert)	RiLSA	<ul style="list-style-type: none"> • Andere Größen ableitbar • Direkte Online-Messung über Erfassung der An- und Abmeldezeitpunkte 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Größe sagt an sich selbst nichts direkt über den Verkehrsablauf aus, sondern nur durch daraus abgeleitete Größen
Platoon Ratio (Pulk-Verhältnis)	Knotenpunkte mit LSA (koordiniert)	HCM	<ul style="list-style-type: none"> • Beschreibt das Verhalten von Pulk-Ankünften 	<ul style="list-style-type: none"> • Nur Schätzwert
Kapazitätsreserve (Belastungsreserve)	Knotenpunkte ohne LSA, Streckenabschnitte, Streckenzüge	HBS, SN	<ul style="list-style-type: none"> • Bezugnahme auf die Leistungsfähigkeit • Dient als Differenz aus Leistungsfähigkeit und Bemessungsverkehrsstärke vor allem der Dimensionierung • ein operativer Einsatz als Differenz aus Leistungsfähigkeit und vorhandener Verkehrsstärke ist unter Voraussetzung der Bekanntheit der Leistungsfähigkeit denkbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitätsbewertung als reine Differenz aus Leistungsfähigkeit und vorhandener Verkehrsstärke berücksichtigt nur die Verkehrsstärkeabhängigkeit des Verkehrsflusses • Andere Einflussgrößen können nicht einbezogen werden
Grenzzeitlücke / kritische Zeitlücke	Knotenpunkte ohne LSA	HCM	<ul style="list-style-type: none"> • Gibt genauere Aussagen über das Empfinden des Verkehrsaufkommens durch den Verkehrsteilnehmer 	<ul style="list-style-type: none"> • Individuelle Größe • Schwer messbar, da je nach Verkehrsteilnehmer unterschiedlich
Konfliktfaktor	Knotenpunkte ohne LSA		<ul style="list-style-type: none"> • Hervorragend für Planungszwecke zur Berechnung der zu erwartenden Kapazität geeignet • Damit Genauere Beurteilung der zu 	<ul style="list-style-type: none"> • schwer automatisch erfassbar (höchstens per Videodetektion) • nicht für den operativen Bereich geeignet, da reine Planungsgröße

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen

Kriterium	Verkehrsanlage	Anwendung in	Vorteile	Nachteile
			<p>erwartenden mittleren Wartezeit möglich, da der Einfluss von Fußgänger- und Radfahrströmen einbindbar ist</p> <ul style="list-style-type: none"> Jedoch nur Einschätzung der zu erwartenden Verkehrsqualität 	
Verkehrsdichte	Streckenabschnitte	HBS, HCM, Fundamental-diagramm	<ul style="list-style-type: none"> für Verkehrsteilnehmer verständlich relativ einfach direkt messbar 	<ul style="list-style-type: none"> Bewertung des Verkehrszustandes im Bereich der Überlastung
Verkehrszusammensetzung	Streckenabschnitte	EWS, HBS	<ul style="list-style-type: none"> Schwerverkehr, ÖPNV, Rad- und Fußgänger können den Verkehrsfluss des Kfz-Verkehrs behindern Der Einfluss kann so berücksichtigt werden Wird in Standardwerken zur Bestimmung der Bemessungsverkehrsstärke genutzt 	<ul style="list-style-type: none"> Online-Messung nicht hinreichend genau (Fahrzeugarten können außer bei Video-Detektion nur indirekt bestimmt werden z.B. über Belegungszeiten oder Auswirkungen der metallischen Masse bei Induktionsschleifen – teilweise sehr ungenau durch externe Einflüsse)
Grad der Überlagerung durch örtliche Erschließungsfunktionen	Streckenabschnitte	(HBS)	<ul style="list-style-type: none"> Aus der Erschließungsfunktion resultierenden Behinderungen können einbezogen werden 	<ul style="list-style-type: none"> Wird in Standardwerken ausgespart, obwohl insbesondere im Stadtgebiet solche Störungen häufig auftreten Nicht direkt online messbar
Zusammenbruchswahrscheinlichkeit (Wahrscheinlichkeit mit der es zur Überlastung kommt)	Streckenabschnitte		<ul style="list-style-type: none"> Für Bemessung von Verkehrsanlagen geeignet Wird über Verteilungsfunktionen auf Basis zufällig schwankender Kapazitäten ermittelt und ist demnach eine stochastische Größe 	<ul style="list-style-type: none"> Bewertungskomponenten wird nicht deutlich Für komplexe innerstädtische Verkehrsanlagen (besonders Knotenpunkte) schwierig, da neben der Verkehrsnachfrage des zu bewertenden Stroms auch die der übergeordneten Ströme Einfluss auf die Zusammenbruchswahrscheinlichkeit hat Relevanz für Verkehrsteilnehmer ist zu bezweifeln (Zahl der Umläufe, in denen

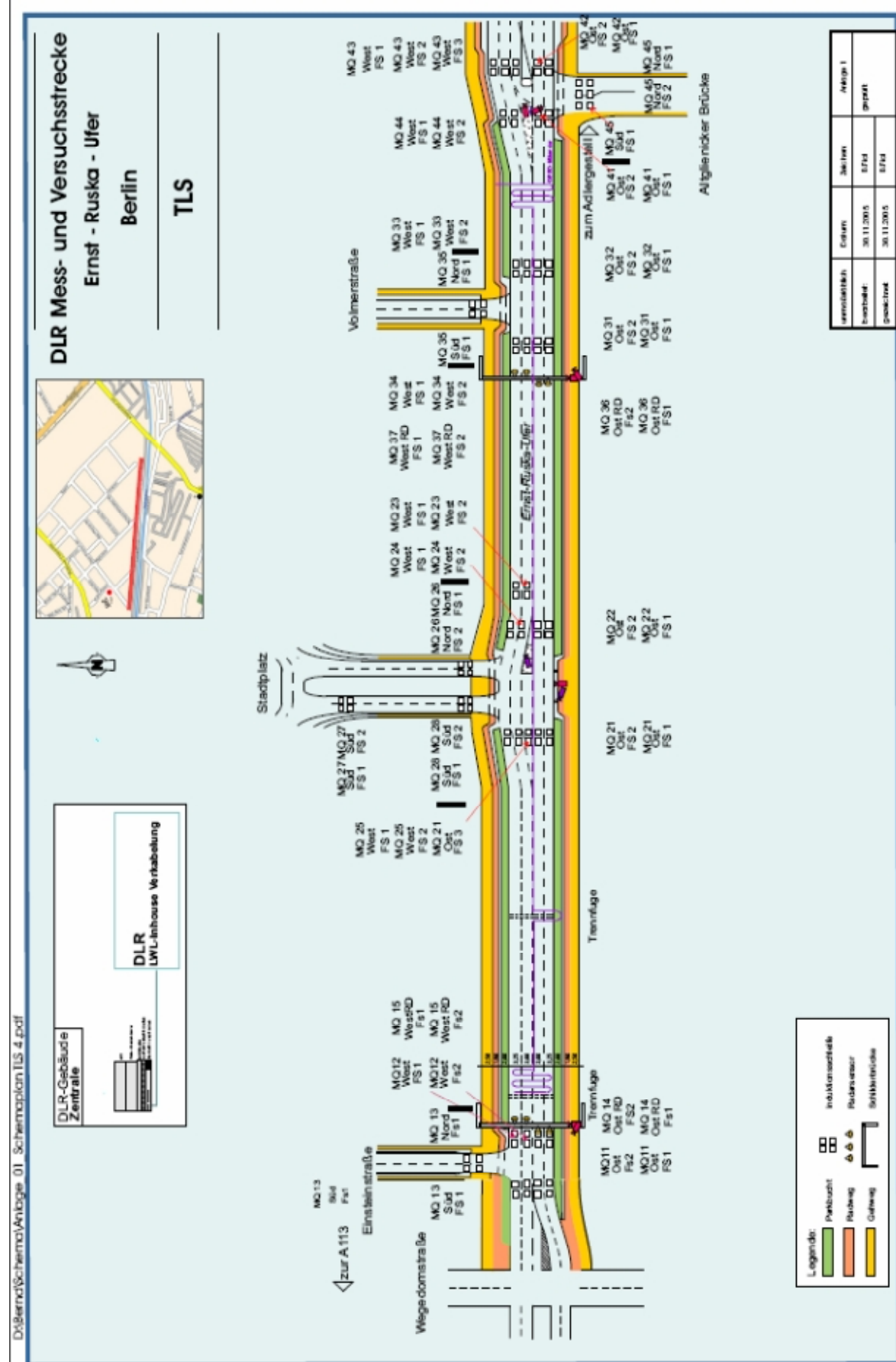
Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen

Kriterium	Verkehrsanlage	Anwendung in	Vorteile	Nachteile
				Verkehrsteilnehmer den Knotenpunkt mit LSA nicht überfahren kann, besitzt für ihn größeren Stellenwert, als die Frage, mit welcher Wahrscheinlichkeit er länger warten muss)
Staudauer	Streckenabschnitte, Streckenzüge		<ul style="list-style-type: none"> Für den Verkehrsteilnehmer besonders von Interesse 	<ul style="list-style-type: none"> Subjektives Empfinden kann von objektiver Bewertung durch diese Größe abweichen
Zeitaufwand <ul style="list-style-type: none"> Reisezeit Luftliniengeschwindigkeit 	Streckenabschnitte, Streckenzüge	RIN	<ul style="list-style-type: none"> Reisezeit siehe oben Die Kenngröße Luftliniengeschwindigkeit berücksichtigt im Gegensatz zur Kenngröße Reisedauer explizit die zurückgelegte Entfernung und eignet sich damit für den Vergleich des zeitlichen Aufwands zwischen Verbindungen unterschiedlicher Entfernung Direkte Online-Messung wäre möglich unter der Voraussetzung, dass die Luftlinienentfernung des betrachteten Streckenabschnittes bekannt ist und die Reisezeit-Messung erfolgt 	<ul style="list-style-type: none"> Online-Messung der Reisezeit
Kosten	Streckenabschnitte, Streckenzüge	RIN	<ul style="list-style-type: none"> Insbesondere für Straßenbaulastträger von Interesse, z.B. Reduzierung von Abgas- und Lärmemissionen Für Verkehrsteilnehmer hinsichtlich Minimierung Kraftstoffverbrauch bedeutsam 	<ul style="list-style-type: none"> Schwer objektiv ermittelbar, wie viel eine Fahrt kosten darf (je nach individuellen Beweggründen unterschiedlich) Direkt online nicht messbar
Direktheit (Umwegfaktor)	Streckenabschnitte, Streckenzüge	RIN	<ul style="list-style-type: none"> Ermöglicht Vergleich zwischen Alternativrouten auf räumlicher Ebene 	<ul style="list-style-type: none"> Keine Online-Messung: Reiseweite und Luftlinienentfernung müssen bekannt sein (wenn das Kriterium als Entscheidungshilfe für die Steuerung

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen

Kriterium	Verkehrsanlage	Anwendung in	Vorteile	Nachteile
				<p>des Verkehrs auf Alternativrouten genutzt werden soll, müssen auch die entsprechenden Weiten der Alternativrouten bekannt sein)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Weitere Einflussfaktoren fließen nicht ein (Verkehrsteilnehmern entscheidet nicht nur auf Basis der Weite, sondern auch über Zeit, Kraftstoffverbrauch, Staulänge etc.)
Zeitliche Verfügbarkeit	Streckenabschnitte, Streckenzüge	RIN	<ul style="list-style-type: none"> • Für Bewertung des ÖPNV geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Größe für den Individualverkehr
Zuverlässigkeit (Verlustzeiten)	Streckenabschnitte, Streckenzüge	RIN	<ul style="list-style-type: none"> • Da die Zuverlässigkeit mit Verlustzeiten gleichgesetzt wird: siehe Wartezeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Siehe Wartezeit • Kontinuierliche Reisedauermessungen notwendig
Sicherheit (Unfallwahrscheinlichkeit)	Streckenabschnitte, Streckenzüge	RIN	<ul style="list-style-type: none"> • Für Verkehrsteilnehmer besonders relevant 	<ul style="list-style-type: none"> • Statistische Größe
Komfort	Streckenabschnitte, Streckenzüge	RIN	<ul style="list-style-type: none"> • Beim Individualverkehr könnten über die Größe Komfort auch Straßenverhältnisse in die Bewertung eingehen 	<ul style="list-style-type: none"> • Objektiv schwer festlegbare Größe, da eher subjektiv

Anlage R: Schemaplan der Messstrecke



Anlage S: Qualitätskriterien nach Anwendung des Relevanzfilters

Kriterium	Eignung für	Messbarkeit /Berechenbarkeit	Korrespondenz mit Wettereinfluss
Mittlere Wartezeit / Verlustzeiten	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Sättigungsgrad /Auslastungsgrad	Operatives VM	X	N
Anzahl der Fahrzeuge im Stau	Operatives VM	X	N
Anzahl der Durchfahrten ohne Halt	Operatives VM	(X)	N
Belegungszeit	Operatives VM	X	N
An- und Abmeldung durch Fahrzeuge	Operatives VM	X	N
Anforderungen durch Fußgänger	-	X	N
Anteil überlasteter Umläufe (LSA)	-	X	N
Reststau (LSA)	-	X	N
Anzahl der Halte	Operatives VM	X	N
Abstand zwischen Fahrzeugen (Zeit- bzw. Weglücke)	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Rückstaulänge	Operatives VM	X	N
Platoon Ratio (Pulk-Verhältnis)	-	-	N
Kapazitätsreserve (Belastungsreserve)	-	X	N
Grenzzeitlücke (bzw. kritische Zeitlücke)	-	-	J à Hypothese!
Konfliktfaktor	-	-	N
Verkehrsdichte	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Reisegeschwindigkeit	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Reisezeit	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Verkehrsstärke	Operatives VM	X	J à Hypothese!
Verkehrszusammensetzung	Operatives VM	X	N
Grad der Überlagerung durch Erschließungsfunktionen	-	(x)	N
Zusammenbruchswahrscheinlichkeit	Operatives VM	X	J à Hypothese!

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen

Staudauer	Operatives VM	X	N
Zeitaufwand (Luftliniengeschwindigkeit)	Operatives VM	X	J → Hypothese!
Kosten	-	X	N
Direktheit (Umwegfaktor)	Operatives VM	X	N
zeitliche Verfügbarkeit	nur ÖV!!!		
Zuverlässigkeit (Verlustzeiten)	Operatives VM	X	J → Hypothese!
Sicherheit	Operatives VM	X	J → Hypothese!
Komfort	Operatives VM	(x)	J → Hypothese!
Legende: X = ist messbar; - = nicht messbar; (x) = bedingt messbar; N = korrespondiert nicht mit; J = korrespondiert mit ... (ist jedoch zunächst nur eine Annahme)			

Anlage T: Datensätze der Messstreckendatenbank

Detektor	Datenausgabe	Daten	Auflösung bei Abspeicherung
Doppelinduktionsschleife	Einzelfahrzeugdaten (1 Datensatz pro Fahrzeug)	Schleife (loop)	[-]
		Zeitstempel (Monat, Tag des Monats, Stunde, Minute, Millisekunde, Woche, Tag des Jahres, Tag der Woche)	[]
		Geschwindigkeit (v)	[km/h]
		Fahrzeugtyp entsprechend TLS 5+1 (type)	[-]
		Nettozeitlücke (nt)	[0.1 sec]
		Belegungszeit (bel)	[0.1 sec]
		Fahrzeuglänge (l)	[0.1 m]
Radarsensoren	Einzelfahrzeugdaten (1 Datensatz pro Fahrzeug)	Radarsensor (loop)	[-]
		Zeitstempel (Monat, Tag des Monats, Stunde, Minute, Millisekunde, Woche, Tag des Jahres, Tag der Woche)	[]
		Geschwindigkeit (v)	[km/h]
		Fahrzeugtyp entsprechend TLS 5+1 (type)	[-]
		Nettozeitlücke (nt)	[0.1 sec]
Wetterstation	1 Datensatz pro Minute	Zeitstempel (Monat, Tag des Monats, Stunde, Minute, Sekunde, Woche, Tag des Jahres, Tag der Woche)	[1 min]
		Lufttemperatur (LT)	[0.1 °C]
		Luftdruck (LD)	[0.1 hPa]
		Relative Luftfeuchtigkeit (RLF)	[1 %]
		Windrichtung (WR)	[1°]
		Windgeschwindigkeit (WGM)	[0.1 m/s]
		Helligkeit (HK)	[0.1 kLux]
		Niederschlagsmenge (NSM)	[0.1 mm]
		Niederschlag (NS)	[ja(1) /nein(0)]
		Einstrahlung (PY)	[1 W/qm]
		Bodentemperatur 10cm unter der Oberfläche (BMinusZehn)	[0.1 °C]
		Bodentemperatur 10cm über der Oberfläche (BPlusZehn)	[0.1 °C]
		Rackinnentemperatur	[0.1 °C]

Anlage U: SQL-Abfragen

erste Abfrage-Versuche (teilweise fehlerhaft)

```
SELECT loops2008.nt, weather2008.NSM, weather2008.NS FROM scd.weather2008,
scd.loops2008 where weather2008.month = loops2008.month and weather2008.NS = 1 and
weather2008.month = 7 and weather2008.week = 2
```

```
SELECT loops2008.month, loops2008.dayofmonth, loops2008.nt, weather2008.NSM,
weather2008.NS FROM scd.weather2008, scd.loops2008 where (weather2008.NS = 1 and
weather2008.month = 11 and weather2008.week = 45) and weather2008.month =
loops2008.month
```

```
SELECT loops2008.month, loops2008.dayofmonth, loops2008.nt, weather2008.NSM,
weather2008.NS FROM scd.weather2008, scd.loops2008 where (weather2008.NS = 1 and
weather2008.month = 11 and weather2008.week = 45 and weather2008.dayofmonth = 1
and weather2008.hour = 8) and weather2008.month = loops2008.month
```

```
SELECT loops2008.month, loops2008.dayofmonth, loops2008.nt, weather2008.NSM,
weather2008.NS FROM scd.weather2008 join scd.loops2008 on weather2008.month =
loops2008.month where weather2008.NS = 1 and weather2008.month = 11 and
weather2008.week = 45 and weather2008.dayofmonth = 6 and weather2008.hour = 8 and
loops2008.loop = 12
```

```
SELECT loops2008.month, loops2008.dayofmonth, loops2008.nt, weather2008.NSM,
weather2008.NS FROM scd.weather2008 join scd.loops2008 on weather2008.month =
loops2008.month where weather2008.NS = 1 and weather2008.month = 11 and
weather2008.week = 45 and weather2008.hour = 8 and loops2008.loop = 12
```

```
SELECT loops2008.month, weather2008.hour, loops2008.dayofmonth, loops2008.nt,
weather2008.NSM, weather2008.NS FROM scd.weather2008 join scd.loops2008 on
weather2008.month = loops2008.month where weather2008.NS = 1 and
weather2008.month = 11 and weather2008.week = 45 and weather2008.hour between 8
and 9 and loops2008.loop = 12
```

```
SELECT loops2009.month, weather2009.hour, loops2009.dayofmonth, loops2009.nt,
weather2009.NSM, weather2009.NS FROM scd.weather2009 join scd.loops2009 on
weather2009.month = loops2009.month where weather2009.NS = 1 and
weather2009.month = 11 and weather2009.week = 45 and weather2009.hour between 8
and 9 and loops2009.loop = 12
```

```
SELECT MAX(dayofmonth) FROM scd.loops2009 WHERE month = 11 and loops2009.loop =
12
```

```
select loops2009.month, loops2009.dayofmonth, loops2009.hour, loops2009.min from
scd.loops2009 where loops2009.loop=11 and loops2009.month=11 union select
```

```
weather2009.month, weather2009.dayofmonth, weather2009.hour, weather2009.min
from scd.weather2009 where weather2009.month = 11
```

```
select loops2009.month, loops2009.dayofmonth, loops2009.hour, loops2009.min,
loops2009.nt, weather2009.NSM, weather2009.NS FROM scd.weather2009 join
scd.loops2009 on (weather2009.month = loops2009.month and weather2009.dayofmonth
= loops2009.dayofmonth and weather2009.hour = loops2009.hour and weather2009.min =
loops2009.min) where loops2009.loop=11 and loops2009.month=11 and
loops2009.dayofmonth=1 and weather2009.NS=1
```

```
select loops2009.month, loops2009.dayofmonth, loops2009.hour, loops2009.min,
loops2009.nt, weather2009.NSM, weather2009.NS FROM scd.weather2009 join
scd.loops2009 on (weather2009.month = loops2009.month and weather2009.dayofmonth
= loops2009.dayofmonth and weather2009.hour = loops2009.hour and weather2009.min =
loops2009.min) where loops2009.loop=11 and loops2009.month=11 and
loops2009.dayofmonth=1 and weather2009.month=11 and weather2009.dayofmonth=1
and weather2009.NS=1
```

➤ Problem hier: keine Datenausgabe, da grad am 1.11. gutes Wetter war

```
select loops2009.month, loops2009.dayofmonth, loops2009.hour, loops2009.min,
loops2009.nt, weather2009.NSM, weather2009.NS FROM scd.weather2009 join
scd.loops2009 on (weather2009.month = loops2009.month and weather2009.dayofmonth
= loops2009.dayofmonth and weather2009.hour = loops2009.hour and weather2009.min =
loops2009.min) where loops2009.loop=11 and loops2009.month=11 and
weather2009.month=11 and weather2009.NS=1
```

zur Erstellung der Datentabellen verwendete SQL-Abfragen

- Ausgabe, wie oft Niederschlag innerhalb der vorhandenen Daten vorkommt und an welchen Tagen

```
select count(*), weather2009.dayofmonth FROM scd.weather2009 where
weather2009.month=11 and weather2009.NS=1 group by weather2009.dayofmonth
```
- Ausgabe von Monat, Tag (im Monat), Stunde und Minute sowie Nettozeitlücke, Niederschlagsmenge und Niederschlag (ja/nein) bei Schleife 11 am 11.11.2009 unter der Bedingung, dass Niederschlag registriert wurde (durch Veränderung der rot markierten Zahlen entsprechend der Tabelle, wann Niederschläge waren, können so für alle relevanten Tage Tabellen erstellt werden)

```
select loops2009.month, loops2009.dayofmonth, loops2009.hour, loops2009.min,
loops2009.nt, weather2009.NSM, weather2009.NS FROM scd.weather2009 join
scd.loops2009 on (weather2009.month = loops2009.month and
weather2009.dayofmonth = loops2009.dayofmonth and weather2009.hour =
loops2009.hour and weather2009.min = loops2009.min) where loops2009.loop=11 and
loops2009.month=11 and loops2009.dayofmonth=11 and weather2009.month=11 and
weather2009.dayofmonth=11 and weather2009.NS=1
```
- Ausgabe von allen Nettozeitlücken über einen Tag unabhängig ob es geregnet hat oder nicht

```
select loops2009.month, loops2009.dayofmonth, loops2009.hour, loops2009.min,
loops2009.nt, weather2009.NSM, weather2009.NS FROM scd.weather2009 join
```

```
scd.loops2009 on (weather2009.month = loops2009.month and
weather2009.dayofmonth = loops2009.dayofmonth and weather2009.hour =
loops2009.hour and weather2009.min = loops2009.min) where loops2009.loop=11 and
loops2009.month=11 and loops2009.dayofmonth=2 and weather2009.month=11 and
weather2009.dayofmonth=2
```

- Höchste Niederschlagsmenge im Jahr 2009

```
select max(weather2009.NSM) from scd.weather2009
```
- Monat und Tag des Monats, an dem eine Niederschlagsmenge von X vorlag

```
select weather2009.month, weather2009.dayofmonth from scd.weather2009 where
NSM = 336
```
- Weitere Daten an einem bestimmten Tag

```
select loops2009.month, loops2009.dayofmonth, loops2009.hour, loops2009.min,
loops2009.nt, loops2009.type, loops2009.v, loops2009.bel, loops2009.l,
weather2009.NSM, weather2009.NS, weather2009.HK, weather2009.BMinusZehn,
weather2009.BPlusZehn, weather2009.LT FROM scd.weather2009 join scd.loops2009
on (weather2009.month = loops2009.month and weather2009.dayofmonth =
loops2009.dayofmonth and weather2009.hour = loops2009.hour and weather2009.min
= loops2009.min) where loops2009.loop=11 and loops2009.month=12 and
weather2009.month=12 and loops2009.dayofmonth=22 and
weather2009.dayofmonth=22
```
- Alle Dienstage im Jahr, an denen es mindestens einmal geregnet hat

```
SELECT month, dayofmonth, count(*) FROM scd.weather2009 where dayofweek=2 and
NS=1 group by month, dayofmonth;
```
- Ausgabe aller Tage im Jahr, die ein Dienstag waren

```
SELECT month, dayofmonth, count(*) FROM scd.weather2009 where dayofweek=2
group by month, dayofmonth;
```


Anlage V: Excel-Formeln

benötigte Excel-Formeln

- Spalte minuteofday
`=60*C4+E4`
- Spalte Minute des Tages
Einfaches Durchnummerieren
- Spalte aggregierte Nettozeitlücke
`=SUMMEWENN(D:D;J4:F:F)/WENN(ZÄHLENWENN(D:D; J4)=0;1;ZÄHLENWENN(D:D; J4))`
- Geglättete Nettozeitlücke
Vorher Glättungsfaktor (z.B. 0,99) eintragen (zusätzliche Zeile notwendig!!!) und den ersten Wert aus der vorhergehenden Spalte entnehmen, dann:
`=(1-L2)*K5+L2*L4`
- Aggregierte, kumulative NSM
`=SUMMEWENN(D:D;J4;G:G)/WENN(ZÄHLENWENN(D:D;J4)=0;1;ZÄHLENWENN(D:D;J4))`
- Nebenrechnung
Ersten Wert 0 setzen, dann:
`=WENN(M5=0;N4;M5)`
- aggregierter NS
`=SUMMEWENN(D:D;J4;H:H)/WENN(ZÄHLENWENN(D:D;J4)=0;1;ZÄHLENWENN(D:D;J4))`
- Regenumschaltunkte
Ersten Wert 0 setzen, dann:
`=WENN(UND(M5>M4;K4<>0);SUMME(M5;(-1)*M4);0)`
- Nebenrechnung
Vor dem ersten Wert muss eine 0 eingefügt werden (zusätzliche Zeile erforderlich!!!), dann:
`=WENN(P4<>0;J4;Q3)`
- Regenmenge zwischen 2 Umschaltunkten
`=WENN(P4<>0;Q4-Q3;"")`
- Regenstärke
`=WENN(P4<>0;P4/R4;S5)`

Anlage W: Regen-Dienstage (ermittelt über SQL-Abfrage)

Dienstage	mit Regen (NS = 1)	ohne Regen (NS = 0)
06.01.2009	keine Daten	keine Daten
13.01.2009		•
20.01.2009	x	
27.01.2009	keine Daten	keine Daten
03.02.2009	keine Daten	keine Daten
10.02.2009	x	
17.02.2009	x	
24.02.2009	x	
03.03.2009	x	
10.03.2009	x	
17.03.2009	x	
24.03.2009	x	
31.03.2009		•
07.04.2009		•
14.04.2009		•
21.04.2009		•
28.04.2009		•
05.05.2009	x	
12.05.2009		•
19.05.2009	keine Daten	keine Daten
26.05.2009	keine Daten	keine Daten
02.06.2009	keine Daten	keine Daten
09.06.2009	keine Daten	keine Daten
16.06.2009	x	
23.06.2009		•
30.06.2009	x	
07.07.2009	x	
14.07.2009	x	
21.07.2009		•
28.07.2009	x	
04.08.2009		•
11.08.2009	x	
18.08.2009	x	
25.08.2009	x	
01.09.2009	x	
08.09.2009		•
15.09.2009		•

Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs in städtischen Netzen

22.09.2009	x	
29.09.2009	x	
06.10.2009	x	
13.10.2009	x	
20.10.2009		•
27.10.2009	x	
03.11.2009	x	
10.11.2009		•
17.11.2009	x	
24.11.2009	x	
01.12.2009	x	
08.12.2009	x	
15.12.2009	x	
22.12.2009	x	
29.12.2009	x	

